

第 3 回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する
調査・観測及び対策検討委員会
議事次第

開催日時 : 平成 2 4 年 1 1 月 1 5 日 (木) 1 4 : 0 0 ~ 1 6 : 0 0

開催場所 : 島原市有明総合文化会館 2 階 多目的ホール (島原市有明町大三東戊 1382)

議事次第 :

1. 開 会

2. 開会挨拶

雲仙復興事務所長 萬徳 昌昭

3. 挨拶

島原市長 横田 修一郎

4. 検討次第

- (1) 前回委員会の討議概要
- (2) 岩屑なだれの発生事例について
- (3) 岩屑なだれの粒径の再評価について
- (4) 今後予想される土砂流出について
- (5) ハード対策の検討
- (6) ソフト対策について

5. 閉 会

第3回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会
委員名簿

(順不同・敬称略)

【学識委員】

小橋 澄治	京都大学 名誉教授 (砂防)
下川 悦郎	鹿児島大学農学部生物環境学科 名誉教授 (砂防)
清水 洋	九州大学大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター 教授 (火山)
里深 好文	立命館大学理工学部 都市システム工学科 教授 (砂防)
山田 孝	三重大学大学院生物資源学研究科 教授 (砂防)
木村 拓郎	一般社団法人減災・復興支援機構 理事長 (防災)

【行政委員】

池田 滋	福岡管区气象台 火山防災情報調整官
植田 剛史	九州地方整備局 河川部長
坂谷 朝男	長崎県 危機管理監
村井 禎美	長崎県 土木部長
平尾 眞一	長崎県 島原振興局長
横田 修一郎	島原市 市長
藤原 米幸	南島原市 市長
奥村 慎太郎	雲仙市 市長

【オブザーバー】

中原 一則	林野庁 長崎森林管理署 署長
井野 常雄	林野庁 九州森林管理局治山課 治山技術専門官
滝藤 由貴	環境省 九州地方環境事務所 雲仙自然保護官事務所 自然保護官
佐藤 義高	長崎県 農林部 森林整備室長

【事務局】

国土交通省 九州地方整備局 (河川部、雲仙復興事務所)
長崎県 (危機管理監、土木部)

第3回

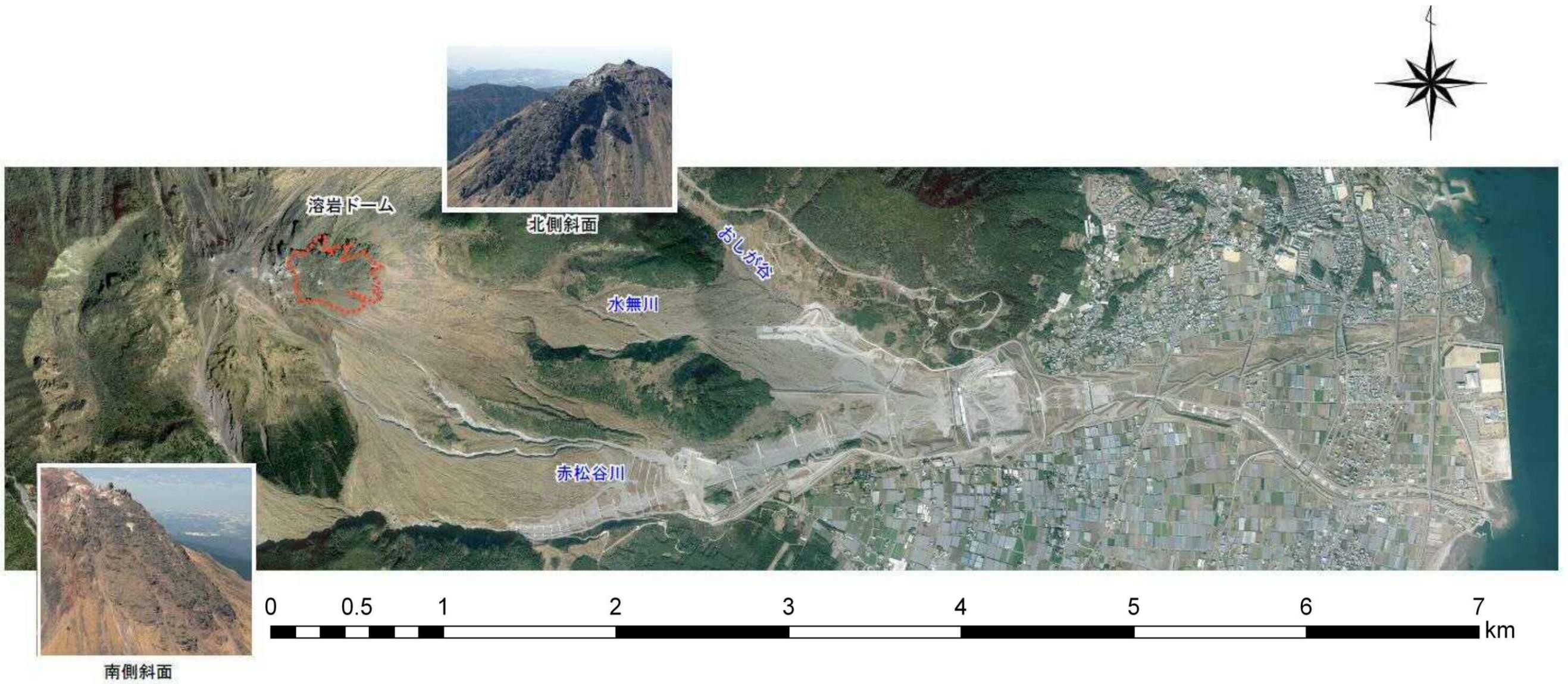
資料6

雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会

討議資料

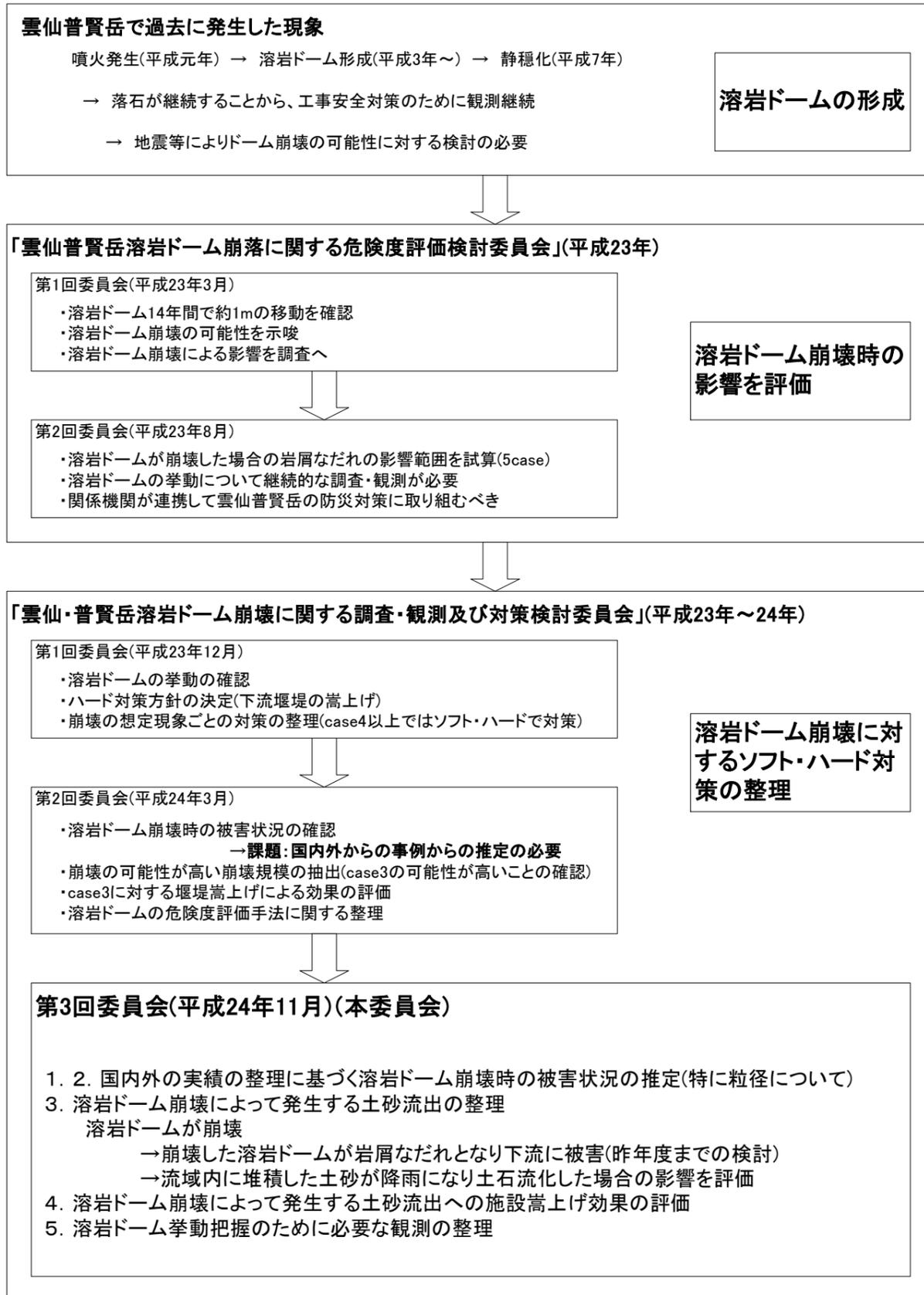
平成24年11月15日

雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会



溶岩ドームと水無川流域（おしが谷、水無川、赤松谷川）の位置関係図

これまでの検討結果および本委員会の流れ



第3回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会の流れ

1. 岩屑なだれの発生事例について

- ① 大規模崩壊の分類
- ② 火山性地域と非火山性地域の大規模崩壊の比較
- ③ 火山性地域の崩壊による岩屑なだれについて
- ④ 岩屑なだれ堆積物の特徴
- ⑤ 山体崩壊の発生誘因
- ⑥ 岩屑なだれ堆積物の粒径について

岩屑なだれの発生事例についてを再確認していただく。

2. 岩屑なだれの粒径の再評価について

- ① 岩屑なだれの粒径の再評価について

発生事例に基づいた岩屑なだれの粒径について御議論いただきたい。

3. 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の整理

- ① 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の考え方
- ② 岩屑なだれ
- ③ 溶岩ドーム崩壊発生後の土石流

溶岩ドームの崩壊とそれに関する土砂移動のシナリオについて御議論いただきたい。

4. ハード対策の検討

- ① 課題の整理
- ② ハード対策方針の整理
- ③ 施設嵩上げの効果の検証
- ④ 施設嵩上げの設計(案)

上記シナリオに対するハード対策について御議論いただきたい。

5. ソフト対策について

- ① 溶岩ドームの観測・計測手法の現状と課題
- ② 第4回委員会検討内容案
- ③ 光波測距・地上型合成開口レーダーの観測結果

観測・計測手法および調査手法について御意見をいただきたい。

<目 次>

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割.....	1
前回委員会の討議概要.....	2
1 岩屑なだれの発生事例について.....	3
1.1 大規模崩壊の分類.....	3
1.2 火山性地域と非火山性地域の大規模崩壊の比較.....	4
1.3 火山性地域の崩壊による岩屑なだれについて.....	5
1.4 岩屑なだれ堆積物の特徴.....	6
1.5 山体崩壊の発生誘因.....	9
1.6 岩屑なだれ堆積物の粒径について（結論）.....	9
2 岩屑なだれの粒径の再評価について.....	10
3 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の整理.....	11
3.1 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の考え方.....	11
3.2 岩屑なだれ.....	12
3.3 溶岩ドーム崩壊発生後の土石流.....	14
4 ハード対策の検討.....	19
4.1 課題の整理.....	19
4.2 ハード対策方針の整理.....	19
4.3 施設嵩上げ効果の検証.....	20
4.4 施設嵩上げの設計（案）.....	22
5 ソフト対策について.....	23
5.1 溶岩ドームの観測・計測手法の現状と課題.....	23
5.2 第4回委員会検討内容案.....	23
5.3 光波測距・地上型合成開口レーダーの観測結果.....	24

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

本検討の内容に係る雲仙・普賢岳周辺の各機関と現状の役割を以下に示す。

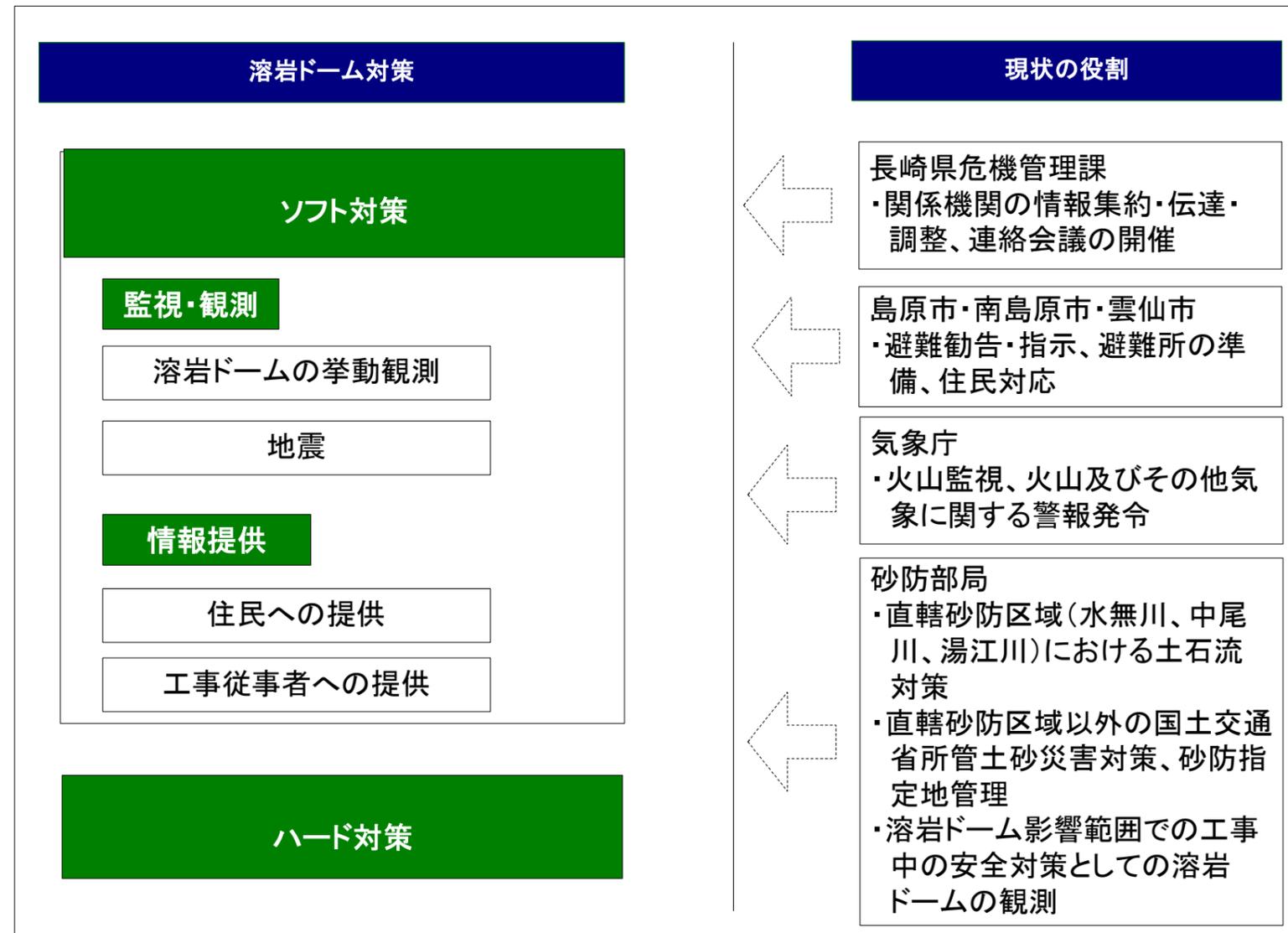


図 本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

前回委員会の討議概要

(1) 開催日時および出席者

日時：平成24年3月28日（水） 14:00～16:00、場所：杉谷公民館1F 大ホール

出席者：(学識委員)小橋委員長、下川委員、清水委員、里深委員、山田委員、木村委員

(行政委員)池田委員、植田委員、坂谷委員（武末代理）、村井委員、江口委員、横田委員、藤原委員、奥村委員（町田代理）

(2) 第2回委員会での討議事項

- ① 溶岩ドームの崩壊により発生する現象、②溶岩ドームの崩壊規模と対策の対象、③溶岩ドーム崩壊対策の考え方

(3) 第2回委員会での討議事項

項目	確認された事項	委員からのご意見	事務局回答ほか
溶岩ドームの崩壊により発生する現象について	■ 溶岩ドーム崩壊時に発生する現象として岩屑なだれを対象とすることが妥当であることについて確認された。	・ 火砕流の発生は絶対無いとは言えないが、可能性は極めて低い。	
溶岩ドームと崩壊規模の対策の対象	■ 溶岩ドーム崩壊規模の内、case3までが危険性が高いことについて確認された。	・ 溶岩ドーム下流の崩落堆積物上は植生に被覆されているために地上型合成開口レーダーでも斜面の変形が観測できないということであるが、地上型合成開口レーダーの波長を長くすれば植物の影響を無視できる可能性がある	→ 精査中
		・ 地上型合成開口レーダーによる変位分布(第2回委員会資料P8)での寒色の部分は溶岩ドームが沈降しているのか、確認が必要である。	
		・ 溶岩ドームの亀裂の位置関係の写真(第2回委員会資料P7)で側方に崩れが発生しているように見える。同写真より、茶色の部分は植生が根付いているが、灰色の部分は現在でも表層崩壊が進み、植生が根付いていない場所とも考えられる。また、溶岩ドーム全体の沈降ということもありえる。溶岩ドームの側方崩壊の危険度や溶岩ドームの面的な形状の変化も把握するのは重要である。	→ 亀裂の確認や地上型合成開口レーダーによる面的な観測も行っているが、さらに検討する。
		・ 調査を実施した側方の亀裂部だけではなく、J1亀裂、J2亀裂等の溶岩ドーム上の亀裂部を詳細に調査できないか？	→ 安全上の問題から難しい。
		・ 第11ロープの移動の可能性高いとしているが、地山から崩れる可能性は低いと考えて良いのか。	→ 地山は現在の勾配で安定しており、崩れる可能性は低いと考えられる。
溶岩ドーム崩壊対策の考え方について	■ 基本的な考え方として、ソフト対策とハード対策を組み合わせるというところが確認された。	・ ハード対策で対象とするcase3以下ではソフト対策が不要ということではないことに注意すること。	
ハード対策	■ case3までの崩壊に対して、既設砂防堰堤の3m嵩上げで氾濫を抑えられるという考え方については確認された。	・ 嵩上げの3mという数字はどうやって求めたのか。	→ 発生する可能性が高いcase3での氾濫を抑えられる最小限の嵩上げということで設定している。
		・ 既設砂防堰堤の3m嵩上げで Case3 の氾濫は抑えられることになっているが、構造計算は行っているのか。	→ 仮定であるが安定計算を行っており、強度の確保は行えることを確認している。
		・ 土石流が発生し、水無川の砂防堰堤が満砂した状態になったら、嵩上げしても十分な施設効果は発揮できないのではないのか。	→ 大規模土石流や地震のような、希な自然現象が同時期に発生する可能性は低いと考えられる。砂防堰堤に一定以上の土砂が堆積したら除石を行い、常に砂防堰堤が十分な効果を発揮するように計画を立てている。
ソフト対策	■ ソフト対策について今後更なる検討が必要なこと、「溶岩ドーム崩壊危険度判定会(仮称)」を設置すべきであることは確認された。	・ 前兆無くドームの崩壊が発生した場合、数分で岩屑なだれが保全対象まで到達することになるが、この時の危険情報の到達手段、短時間で住民がとるべき行動を整理し、実際に使えるソフト対策を考える必要がある。	→ 現状の数値計算では岩屑なだれの形状の予測には十分な精度が得られず、今後検討の必要がある。 → 今後の課題だが、溶岩ドームの内部構造が分からないと難しい。
		・ 到達する岩屑なだれが細粒土砂が多い流れだった場合、建物内の山側の窓から離れた場所に避難するなどの方法もあるのではないのか。	
		・ 到達する岩屑なだれの形状を考慮して、避難場所の安全基準を設定する必要がある。	
		・ 震度等を参考に、避難勧告・指示等を発令する基準を検討する必要がある。	
		・ 避難対策の対象範囲はcase5の影響範囲で良いのか、今後の検討で留意する必要がある。	
その他の指摘事項		・ 本検討のまとめにおいては、なぜ今このような検討が必要なのか、現在危険度はどうなっているのか等、検討の経緯を整理する必要がある。 ・ 今回の委員会で溶岩ドーム崩壊の可能性が低くても危険性が存在することを実感できた。このような検討は必要だと思う	

1 岩屑なだれの発生事例について

「新版 地学事典（新版地学事典編集委員会編、1996）」では、「岩屑なだれ」の定義は以下の通りである。
「岩屑なだれ」は火山体が崩壊・流下する現象で、その運搬機構には水は寄与していない。なお、現在では水が関与しない火山体以外の崩壊・運搬についても用いられる場合がある。

がんせつなだれ 岩屑—— debris avalanche 粘性の高いマグマの貫入による火山体の変形や水蒸気爆発、地震などが原因で、火山体の不安定な部分が表層なだれのように高速で崩れ落ちる現象。岩屑なだれ堆積物は表面に流れ山地形をもち、分解しきれなかった給源火山体構成物の大きな塊を含むことが特徴。低温のことが多く、運搬機構に水は寄与しない。等価動摩擦係数は0.06~0.2の範囲にあり、非火山地域の崩落より小さい。1980年の北米セントヘレンズ火山、1888年の磐梯山、1984年の御嶽山伝上崩れ等がよく知られた発生事例である。岩屑流、ドライアバランシュと呼ばれたこともあり、以前は火山泥流と識別できていなかった。[宇井忠英]

出典：新版 地学事典（新版地学事典編集委員会編、1996）

一方「深層崩壊」については、「深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会 報告・提言（H24/3 砂防学会）」において以下のように定義されている。「深層崩壊」は基盤まで崩壊するかどうかの崩壊そのものに着目した用語で、崩壊後の移動現象崩壊・運搬機構に水が寄与している場合が多い。

3 4 深層崩壊の定義の提案

山地および丘陵地の斜面の一部が表土層（風化の進んだ層）のみならずその下の基盤を含んで崩壊する現象を指す。その特徴を述べれば移動土塊・岩塊の動きは突発的で一過性であり、その移動速度は大きく、運動中に激しい攪乱を受けて原形を保たない場合が多い。特定の地質や地質構造の地域で多く発生し、特に我が国では四万十帯などの付加体*における発生頻度が高い。すべり面の位置が深いために樹木の根系による崩壊抑止効果は期待できない。表層崩壊に比べて土砂量は大きく、土砂量の範囲は極めて広い。土砂量が大きいかほど等価摩擦係数が小さくなり到達距離は大きくなる傾向を持つ。土砂量が大きいかほど発生頻度は小さくなる。発生誘因には、降雨、地震、融雪、火山噴火等があるが、発生件数からは、降雨と地震によるものが多い。

出典：深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会 報告・提言（H24/3 砂防学会）

本検討では「岩屑なだれ」を対象現象とする。

1.1 大規模崩壊の分類

本検討では、岩屑なだれを発生させる崩壊について、崩壊土量が 10⁶m³以上の事象を大規模崩壊とし、崩壊事例に関する資料を収集して岩屑なだれの発生実績と堆積物の特徴を整理した。

大規模崩壊は、「火山性地域の崩壊」と「非火山性地域の崩壊」に分けられ、また火山性地域の崩壊は、「溶岩ドームの崩壊」と「火山体の崩壊」に分類される。図 1.1 に大規模崩壊の分類と本検討の資料収集範囲を示す。なお、本検討対象である雲仙溶岩ドームの崩壊（case3）は「火山性地域の崩壊」のうち、「溶岩ドームの崩壊」による岩屑なだれに相当する。

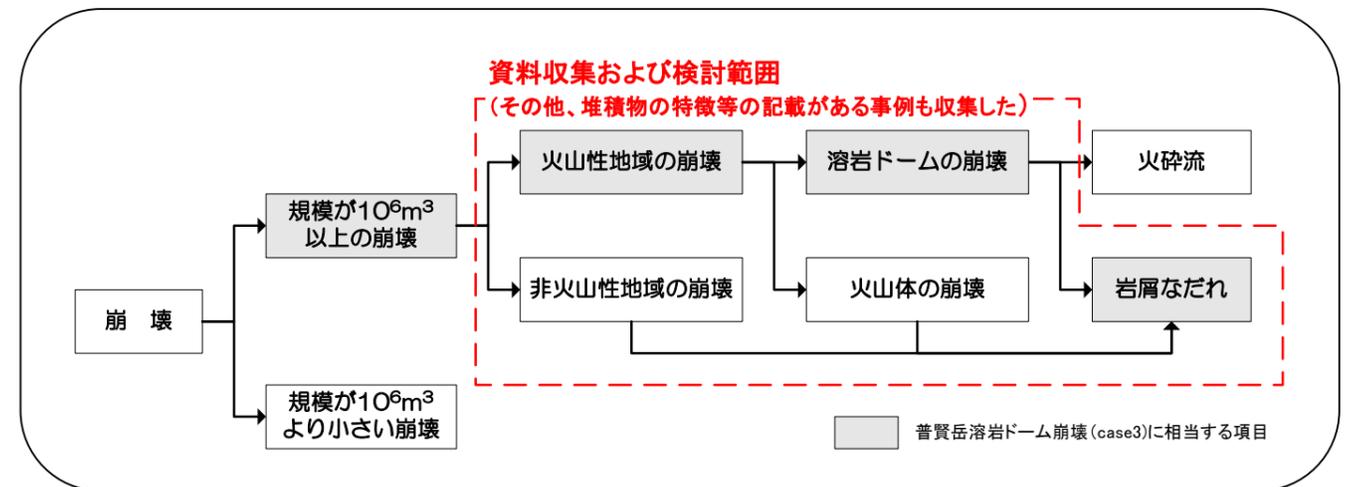


図 1.1 大規模崩壊の分類と本検討の資料収集および検討範囲

火山性地域の崩壊については 42 箇所（国外 25 箇所、国内 17 箇所）、非火山性地域の崩壊については 38 箇所（国外 35 箇所、国内 3 箇所）の事例を収集した。

1.2 火山性地域と非火山性地域の大規模崩壊の比較

火山性地域で発生する岩屑なだれが、それ以外の地質で構成される地域で生じた大規模崩壊と比べて、どのような特徴を有するか明らかにするため、火山性地域と非火山性地域の大規模崩壊の比較を行った。

(1) 発生頻度

日本全国にわたり、大規模な崩壊地形を収集・整理した町田他（1987）の報告によれば、「崩壊面積 1km²以上の 330 件の大規模崩壊のうち、30%が第四紀火山地域で発生」しており、井口（2006）は、「日本列島における第四紀の火山岩に覆われる面積は 9%に過ぎないことから、第四紀火山地域は大規模崩壊が発生しやすい地域であると言える」と指摘している。

また、歴史時代に発生した大規模崩壊 13 件のうち、10 件が第四紀火山性地域で発生していることから、第四紀火山地域は大規模崩壊が発生しやすい地域であると言える。

表 1.1 歴史時代に火山性地域および非火山性地域で発生した大規模崩壊

崩壊名	発生年	崩壊土量 (km ³)	地質	発生原因
磐梯山	806 年?	0.5	第四紀火山	不明
八ヶ岳大月川	888 年	0.35	第四紀火山	不明
庄川帰雲山	1586 年	0.020~0.025	濃飛流紋岩	天正大地震
水口山	1596 年	0.03	第四紀火山	慶長豊後地震
北海道駒ヶ岳	1640 年	1.72~2.00	第四紀火山	火山噴火
大谷崩れ	1707 年	0.12	古第三系	宝永地震
加奈木崩れ	1707 年	0.0085	古第三系	宝永地震
渡島大島	1741 年	2.5	第四紀火山	火山噴火
雲仙眉山	1792 年	0.44	第四紀火山	火山噴火・地震
立山鷹崩れ	1858 年	0.27~0.41	第四紀火山	飛越地震
磐梯山	1888 年	1.2	第四紀火山	水蒸気爆発
稗田山	1911 年	0.032	第四紀火山	大雨?
御嶽山伝上川	1984 年	0.036	第四紀火山	長野県西部地震

■ は非火山性地域での大崩壊

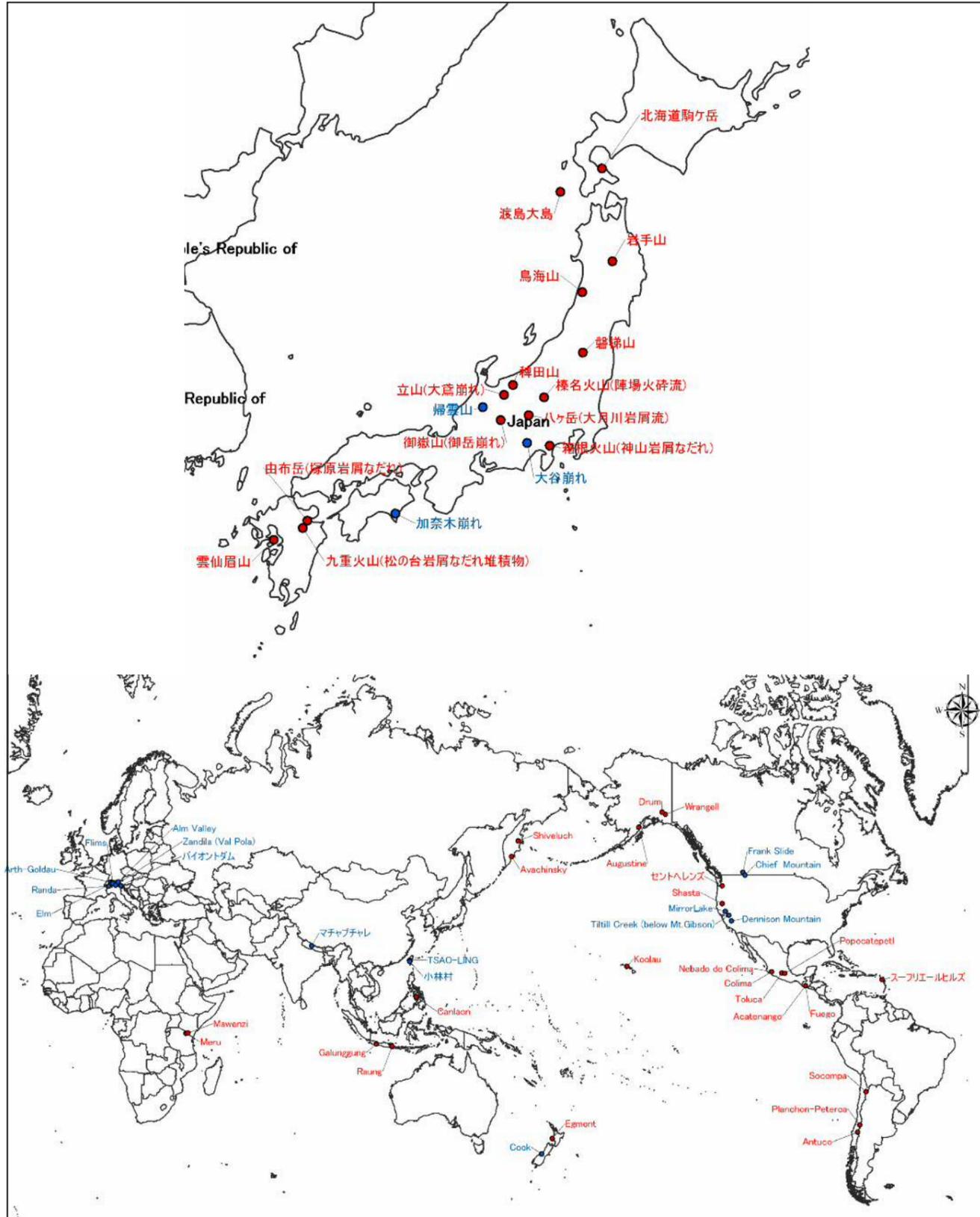


図 1.2 大規模崩壊の発生位置図

(2) 規模

今回整理した火山性地域における崩壊の平均値は 4.86km^3 、最大値は 46km^3 （アメリカ、シャスタ火山）であり、非火山性地域における崩壊の平均値は 0.13km^3 、最大は 0.60km^3 （パキスタン、カラコラム）である。また、日本の事例に着目した場合、火山性地域における崩壊の平均値は 1.10km^3 、最大は 3.50km^3 （鳥海山）であり、非火山性地域における崩壊の平均値は 0.05km^3 、最大は 0.12km^3 （安倍川、大谷崩れ）である。これらのことから、火山性地域で生じる崩壊の方が大規模であると言える。

表 1.2 歴史時代に火山性地域および非火山性地域で発生した大規模崩壊

	火山性地域の崩壊		非火山地域の崩壊	
	崩壊土量 (km ³)	事例数	崩壊土量 (km ³)	事例数
*全事例の平均	4.86	35	0.13	25
*全事例の最大値	46		0.60	
日本の事例の平均	1.10	12	0.05	3
日本の事例の最大値	3.50		0.12	

*: koolau（コーラウ）は楕状火山であり規模が極端に大きいため、除外した。

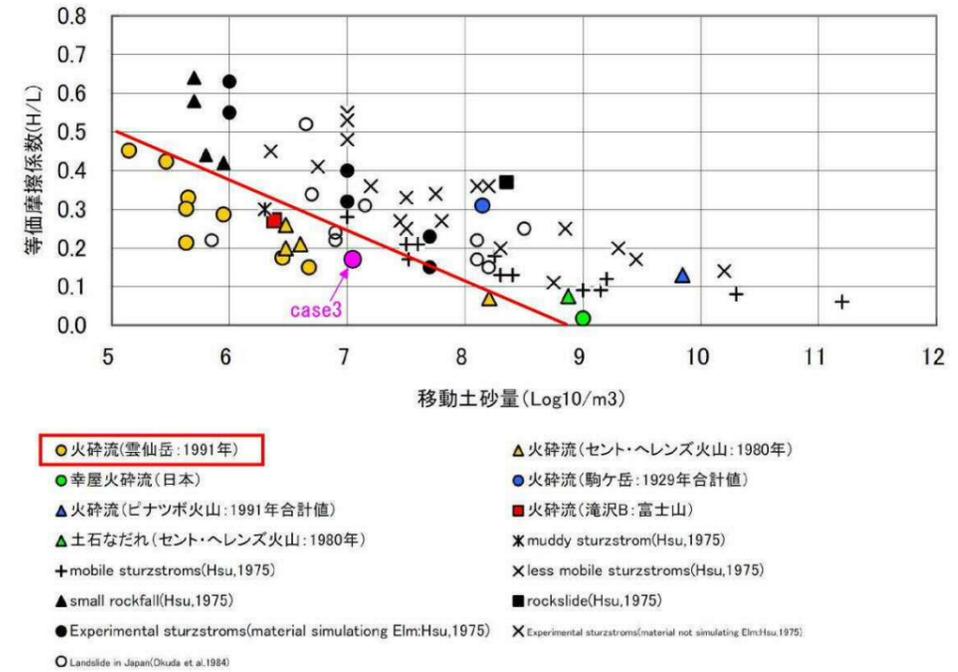
(3) 流動性

一般に地すべり・斜面崩壊等の移動前後の落差(H)と流送距離(L)の比(H/L)は等価摩擦係数としてその流動性の示標として用いられている。等価摩擦係数を比較すると、火山性地域で発生する岩屑なだれはきわめて流動性に富んでおり、非火山地域の崩壊より H/L 値が小さくより遠くまで到達すると言える。

表 1.3 歴史時代に火山性地域および非火山性地域で発生した大規模崩壊

	火山性地域	非火山性地域
等価摩擦係数 (H/L)	0.15	0.37
事例数	19	26

case3 の岩屑なだれの等価摩擦係数は 0.17（比高約 0.94km、流走距離 5.4km）であり、1991 年に雲仙岳で発生した火砕流 (H/L : 0.15~0.45) と同様の値を示している。



内閣府(2001)「平成 14 年度富士山ハザードマップ検討委員会第 5 回基図部会資料」より

図 1.3 等価摩擦係数と土砂移動の関係

1.3 火山性地域の崩壊による岩屑なだれについて

日本国内の第四紀火山を対象として、井口（2006）により 67 火山・128 例の岩屑なだれが確認されている。その後、吉田（2010）により、 10^8m^3 以上の規模の巨大山体崩壊の 11 例が追加されている。本検討では新たに確認した 2 例を加えた日本の第四紀火山における山体崩壊・岩屑なだれの 141 例を収集した。

(1) 火山性の岩屑なだれの発生頻度

発生記録が残っている岩屑なだれをみると、概ね歴史時代（最近 1500 年）で 10 回、最近 500 年では 8 回の岩屑なだれが発生しており、その発生頻度は 60~150 年に 1 度となる。

表 1.4 歴史時代に発生記録が残っている火山性の岩屑なだれ

崩壊名	発生年	崩壊土量 (km ³)	地質	発生原因
磐梯山	806 年?	0.5	第四紀火山	不明
八ヶ岳大月川	888 年	0.35	第四紀火山	不明
水口山	1596 年	0.03	第四紀火山	慶長豊後地震
北海道駒ヶ岳	1640 年	1.72~2.00	第四紀火山	火山噴火
渡島大島	1741 年	2.5	第四紀火山	火山噴火
雲仙眉山	1792 年	0.44	第四紀火山	火山噴火・地震
立山鳶崩れ	1858 年	0.27~0.41	第四紀火山	飛越地震
磐梯山	1888 年	1.2	第四紀火山	水蒸気爆発
稗田山	1911 年	0.032	第四紀火山	大雨?
御嶽山伝上川	1984 年	0.036	第四紀火山	長野県西部地震

(2) 火山性の岩屑なだれの規模

今回整理した 141 事例のうち、岩屑なだれの体積値が報告されている 88 例の事例の規模と発生頻度の関係を示す。なお、0.1km³ 以下の発生頻度が少ないのは、被害がなく記録が残っていない可能性も考えられる。

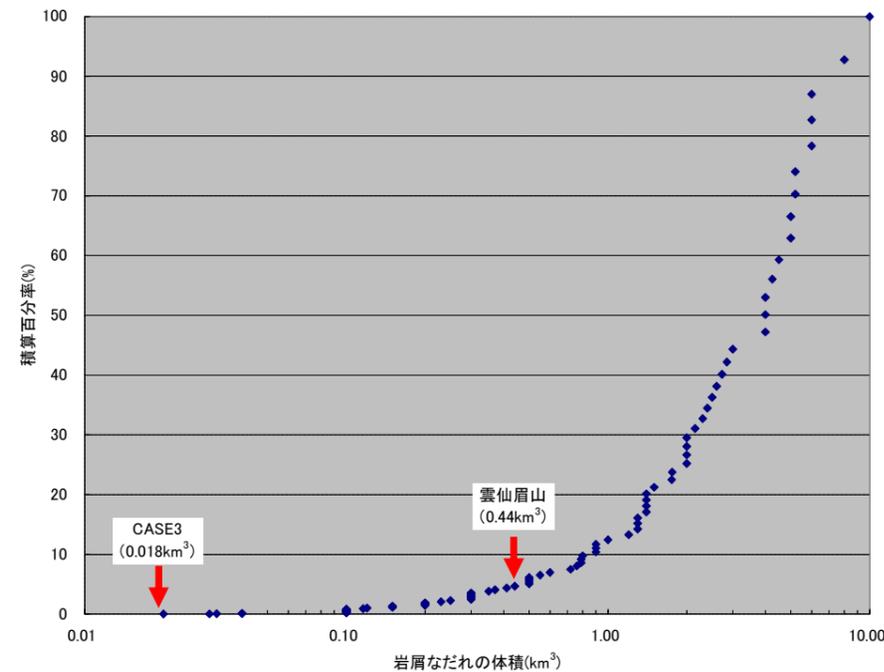


図 1.4 岩屑なだれの体積積算分布

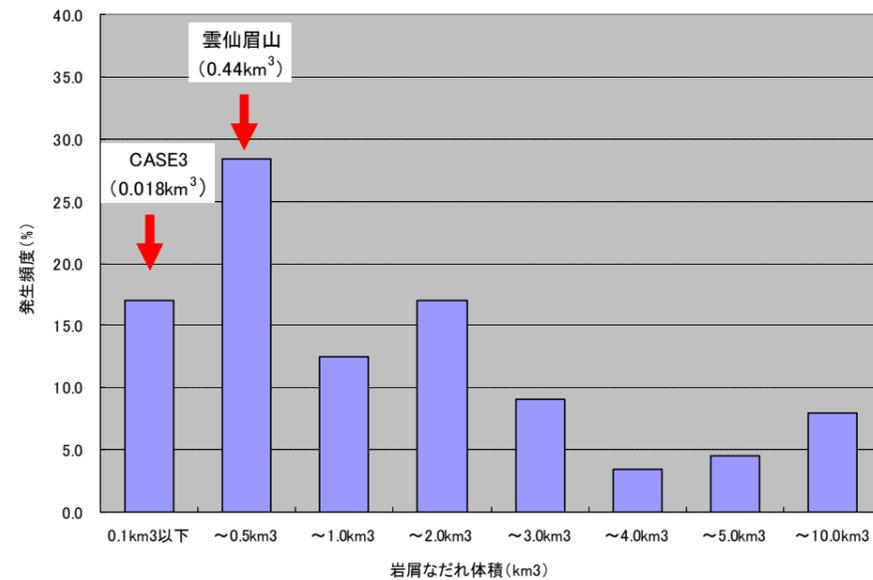


図 1.5 岩屑なだれの体積と発生頻度

1.4 岩屑なだれ堆積物の特徴

(1) 地形

岩屑なだれ堆積域での地形的特徴として、流れ山がある。流れ山は岩屑なだれ堆積物の表面に盛り上がった塚状の形態をした小丘で、数十から場合によっては 1000 個以上も分布している。陸上部に堆積した 1 万年より若い岩屑なだれ堆積物においては全てにおいて流れ山が存在し、岩屑なだれ堆積物を判定する上で大きな指標の 1 つとなっている（井口、2006）。

然別火山や榛名火山では、溶岩ドームの崩壊による火砕流堆積物と考えられているが、流れ山が認められ、堆積物は岩屑なだれと火砕流の中間的な特徴を示している。

表 1.5 流れ山の特徴

分類	名称	年代	比高	基底長	
非火山性地域	小林村 (台湾)	2009年 8月9日	3~5m		
火山性地域	火山体の崩壊	セントヘレンズ	1980年 5月18日	15m	50~80m
		北海道駒ヶ岳	1640年	平均3m 最大15m	50~100m 最大450m
		磐梯山	1888年	数m~10数m	数10m~ 200m
		ハヶ岳 (大月川岩屑流)	888年	1~50m	数m~400m
		御岳山	1984年 9月14日		25~30m
	溶岩ドームの崩壊	然別火山	約3万年 以上前	2~40m	20~300m
		榛名火山 (陣場火砕流)	16,000年 以上前	2~25m	50~400m
		九重火山 (松の台岩屑なだれ)	約1万年前	最大 数10m	最大 200~300m
	雲仙岳眉山	1792年	15m	最大300m	

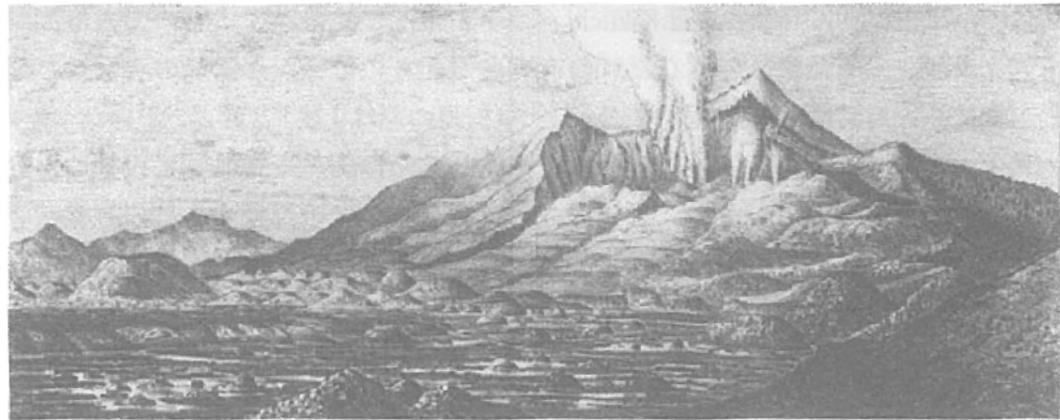


図 1.6 1888 年磐梯山で発生した岩屑なだれ (Sekiya and Kikuchi, 1890)

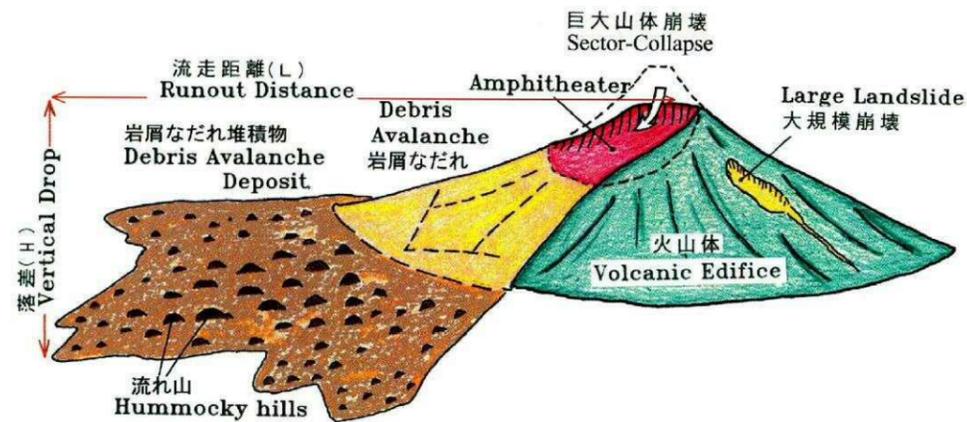


図 1.7 岩屑なだれの模式図 (井口、2006)

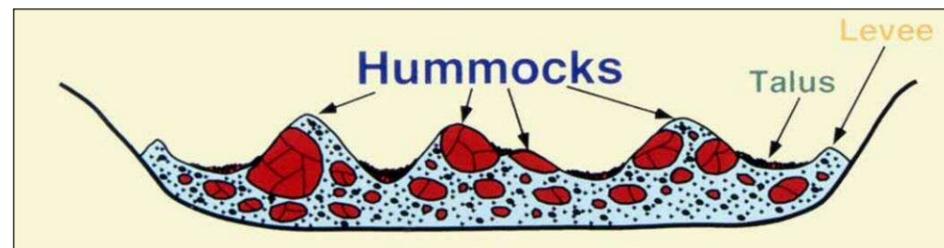


図 1.8 流れ山の概念図 (出典：産総研 HP)

(2) 岩相

岩屑なだれ堆積物は、数 cm 以下の火山礫、火山灰等からなる比較的緩んだ基質と、数 cm~1m (ときには数 m) の岩塊から構成されている。堆積物の特徴として、移動に水が関与しないことから、無層理・無淘汰であり、岩塊はジグソークラックが発達し、角礫~亜角礫状である。

九重火山では流れ山地形をもつ松の台岩屑なだれ (崩壊土量: 0.15km^3 (小林ほか、2008)) が分布しており、崩壊堆積物と火砕流堆積物の両方の特徴を持つ堆積物となっている。また渡辺 (1999) は、この松の台岩屑なだれを調査して、「冷却途中の溶岩ドームが崩壊してできた堆積物である可能性を示し、今後雲仙普賢岳でも高温の岩屑なだれが発生する可能性」を指摘している。

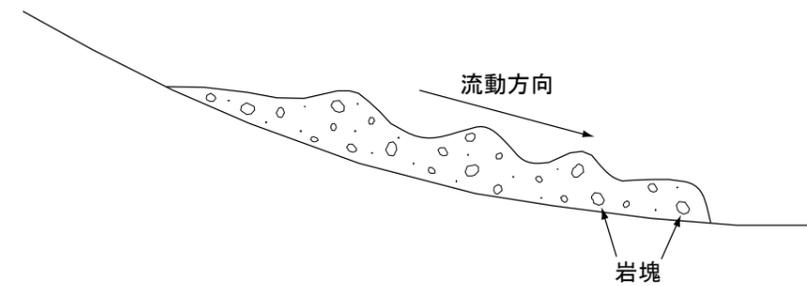


図 1.9 流動中の岩屑なだれのイメージ図

表 1.6 岩屑なだれ堆積物の特徴

分類	名称	年代	岩塊の特徴	基質の特徴	崩壊物質 総堆積 ($\times\text{km}^3$)	流動性 (H/L)
火山体の崩壊	セントヘレンズ	1980年 5月18日	数m~数10m	火山岩塊、礫、砂、火山灰 サイズまでの極めてルーズ な堆積物からなる。	2.5	0.10
	北海道駒ヶ岳	1640年	0.5~5.0m	細粒物質と岩片から構成さ れ、淘汰が悪い。	1.72~2.00	0.06 ~ 0.09
	渡島大島	1741年		基質は確認されず、礫の割 合が極めて高い礫岩層であ る	2.5	0.18
	磐梯山	1888年	30m程度	安山岩角礫岩塊の岩粉であ る灰青色の砂	1.2	0.08
	由布岳 (塚原岩屑 なだれ)	2.2ka	1cm~30cm 最大1~2m	白色細粒火山灰	0.04	0.10
	ハヶ岳 (大月川岩屑流)	888年	3m	赤褐、黄、灰、白色の火山 灰・粘土	0.35	0.11
	稗田山	1911年 8月8日	数cm~30cm	細粒~粗流砂	0.032	0.15
	御岳山	1984年 9月14日	数cm~数10cm 流れ山では数m~ 数10m	安山岩岩塊の細粒物	0.036	0.10
溶岩ドームの崩壊	然別火山	約3万年 以上前	5cm~50cmが主体 最大2.3m程度	安山岩質の細粒物質	不明	0.10
	榛名火山 (陣場火砕流)	16,000年 以上前	5~25cm、 最大40cm	5cm以下の角礫状火山礫や 火山灰	不明	0.06
	九重火山 (松の台 岩屑なだれ)	約1万年前	10cm~1m以下 最大5m程度	安山岩質岩片鉱物粒から構 成	0.15	0.10
	雲仙岳眉山	1792年	数cm~数10cm	角閃石安山岩岩片	0.44	0.11

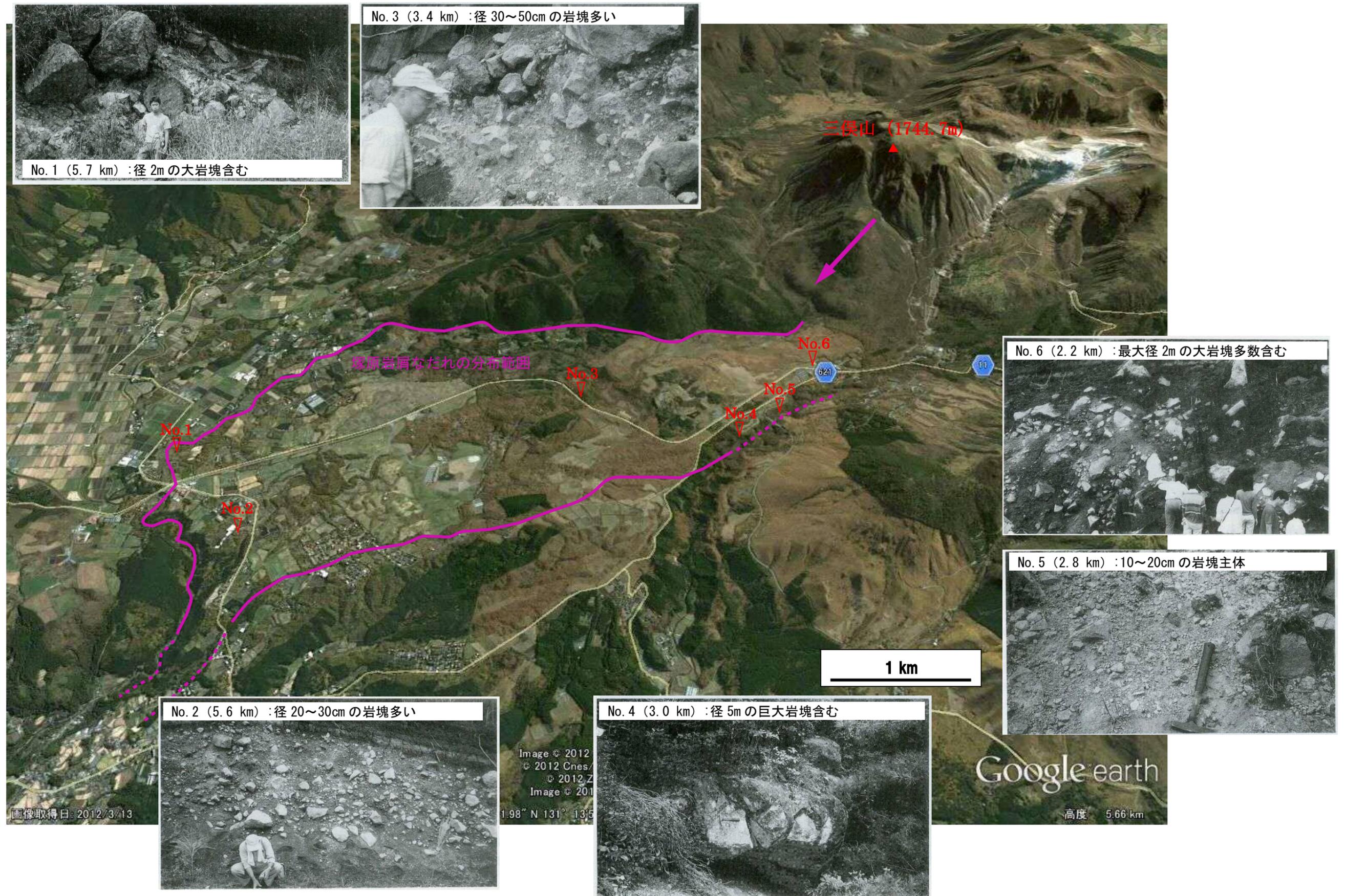


図 1.10 松の台岩屑なだれ堆積物の分布範囲と流走距離・岩相 (渡辺、1999)

1.5 山体崩壊の発生誘因

山体崩壊を引き起こすトリガーとなった発生誘因について、規模の大きな崩壊は火山活動に起因するものが多く、それより規模のやや小さな崩壊は地震に起因するものが多い傾向にある（井口、2000）。日本における山体崩壊の誘因と規模の関係を見ると、主な誘因は火山活動と地震であり、火山活動の起因する方が、崩壊規模が大きいと言える。

これらのことから、普賢岳の溶岩ドームの崩壊の誘因は、火山活動もしくは地震と考えられるが、現在火山活動は確認されていないため、地震および自重によるものと考えられる。

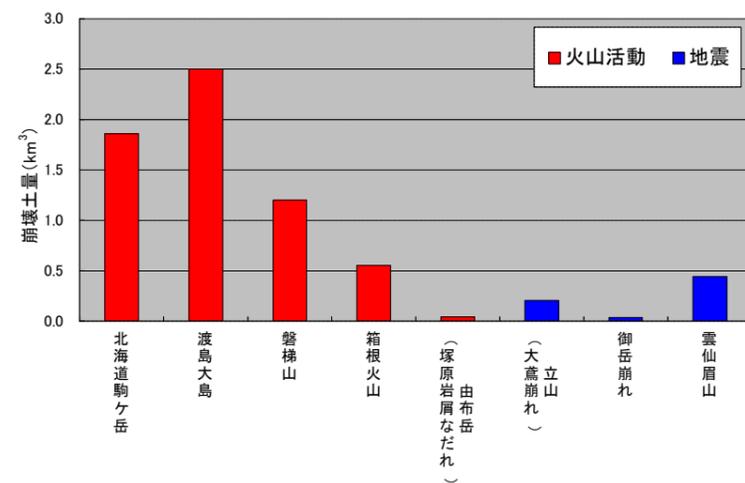


図 1.11 主な日本の火山における山体崩壊の誘因と規模

1.6 岩屑なだれ堆積物の粒径について（結論）

岩屑なだれの発生事例からは、岩屑なだれの移動距離と粒径の関係を定量的に評価できる結論は得られなかった。しかし複数の例から判断すると、岩屑なだれの末端付近でも、数 cm~1m（ときには数 m）の岩塊が含まれていることが明らかとなった。

2 岩屑なだれの粒径の再評価について

高温の火砕流は流動性が高いため、流下範囲の末端まで岩塊が到達する。今回想定している岩屑なだれは、火砕流より低温と考えられるため、火砕流と比較すると流動性は低くなると考えられる。しかし岩屑なだれの実績調査の結果から、数 cm~1m (ときには数 m) の岩塊を含み、非火山性の崩壊より流動性に富んできるところから、「雲仙火山で発生した火砕流と同程度の岩塊が、岩屑なだれの末端付近まで到達する」ことが想定される。数値計算による岩屑なだれの等価摩擦係数(H/L)と、1991年に雲仙岳で発生した火砕流 (H/L : 0.15~0.45) と比較すると、ほぼ同じ値となる (図 1.3)。

雲仙火山で発生した火砕流に含まれる岩塊の実績として、雲仙火山砂防研究報告第一号(1994.3、砂防学会・雲仙火山砂防特別委員会、石川芳治他)によれば、国道 57 号線付近の T-2 トレンチ掘において、火砕流堆積物 (1991.6.8)には礫 100 個の内、1m 級の礫が 2 個確認でき、0.5m 級は 10 個程度、以下 10cm 級が確認されている。

岩屑なだれにより、国道 57 号線付近で、約 1m 程度の岩塊が到達すると想定される。

Case3 土砂量 1792 万 m³

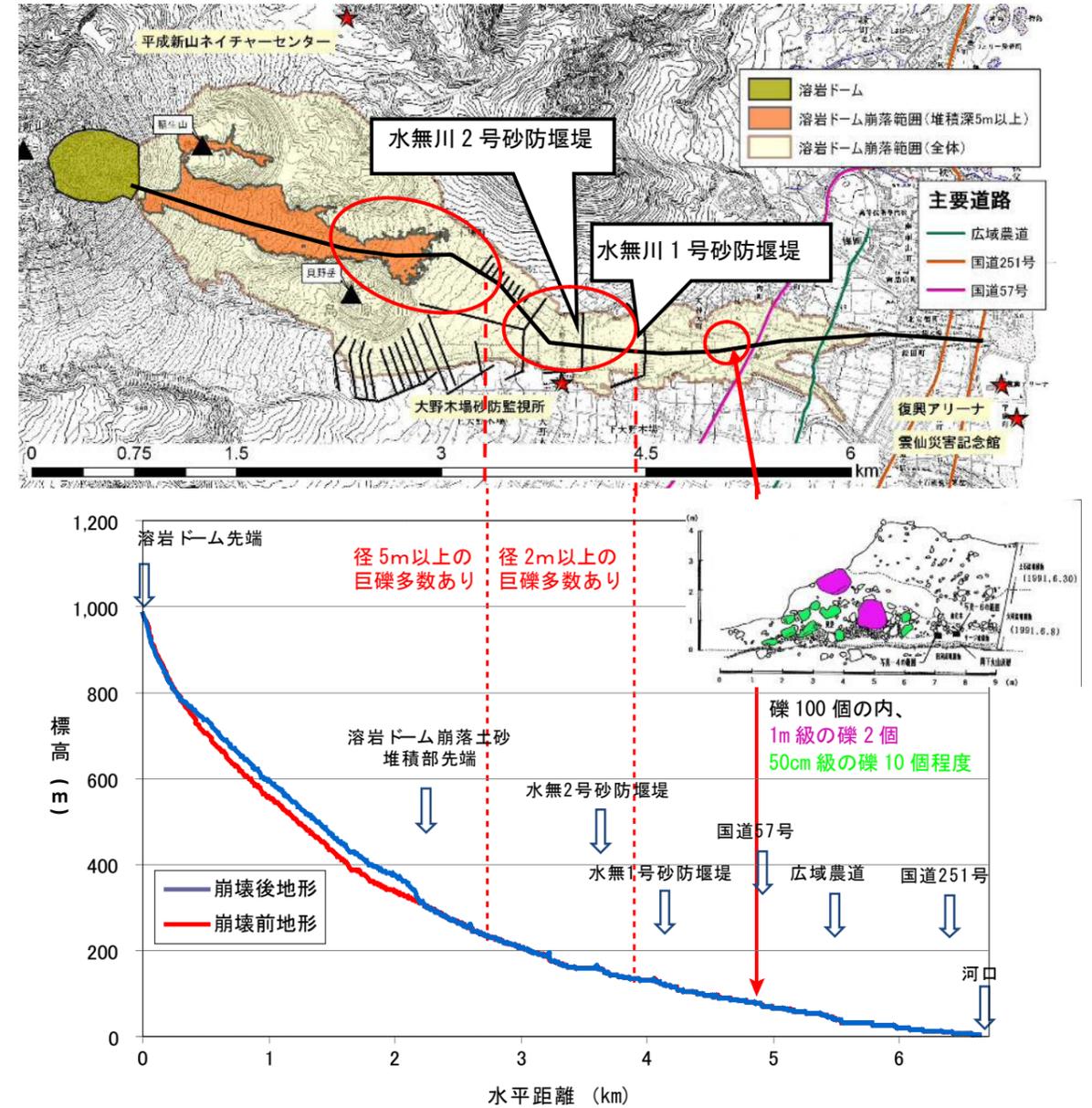


図 2.1 雲仙普賢岳で発生した火砕流堆積物に含まれる岩塊 (概略図)

3 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の整理

3.1 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の考え方

今後、水無川流域で発生する可能性がある土砂流出現象を下記のように整理した。

表 3.1 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出

対象とする現象	概要	シナリオ
・岩屑なだれ	溶岩ドームが低部弱層をすべり面とした滑動を起因として崩壊し、岩屑なだれとして流下する状態を想定	外観的特徴・ドーム形成過程から推定した内部構造より、5 ケースの崩壊パターンを想定し、崩壊後にそのまま岩屑なだれと化して流下する
・土石流	溶岩ドームが崩壊して流域内に留まるとともに流域を荒廃させ、土石流の流出量が増加する状態を想定	溶岩ドームが崩壊して不安定土砂となって流域上流に留まり、地形変化・性状の変化から土砂が流出しやすくなった状態で、連続的な中規模出水 ^{*1} が発生する。

*1 水無川における現行砂防計画では、噴火によって流域内に堆積した火砕流堆積物の量が膨大で、流域内の土砂生産環境が未だ回復途上にあることから、「浸食が生じやすい状況にあり、短期間に連続的な降雨が生じると、連続して土石流が発生することが想定され、1 年のうち比較的多量の降雨が連続的に発生する梅雨期を含む 4~10 月を「出水期」として位置づけ、出水期において 30mm/hr 以上の降雨を含む一連の降雨(無降雨継続時間が 6 時間未満の降雨時系列)総量で発生する土砂量を対象」としている。

本検討では、流域が荒れ土石流が発生しやすくなる状態を想定することから、発生確率の低い大規模な降雨を対象とするのではなく、現行砂防計画の検討において整理された、出水期における土石流発生限界降雨以上の降雨を含む一連の降雨の総降雨量が 1000mm を上回る 5 カ年 (1980, 1982, 1988, 1993, 1997 年) において発生した代表的な 3 つの出水 (H5. 4. 28, H5. 6. 13, H5. 6. 18) を「連続的な中規模出水」と定義して、評価の対象とする。

「連続的な中規模出水」のハイドログラフは期間内の実績降雨より流出解析により求めた。以下に求めたハイドログラフを示す。

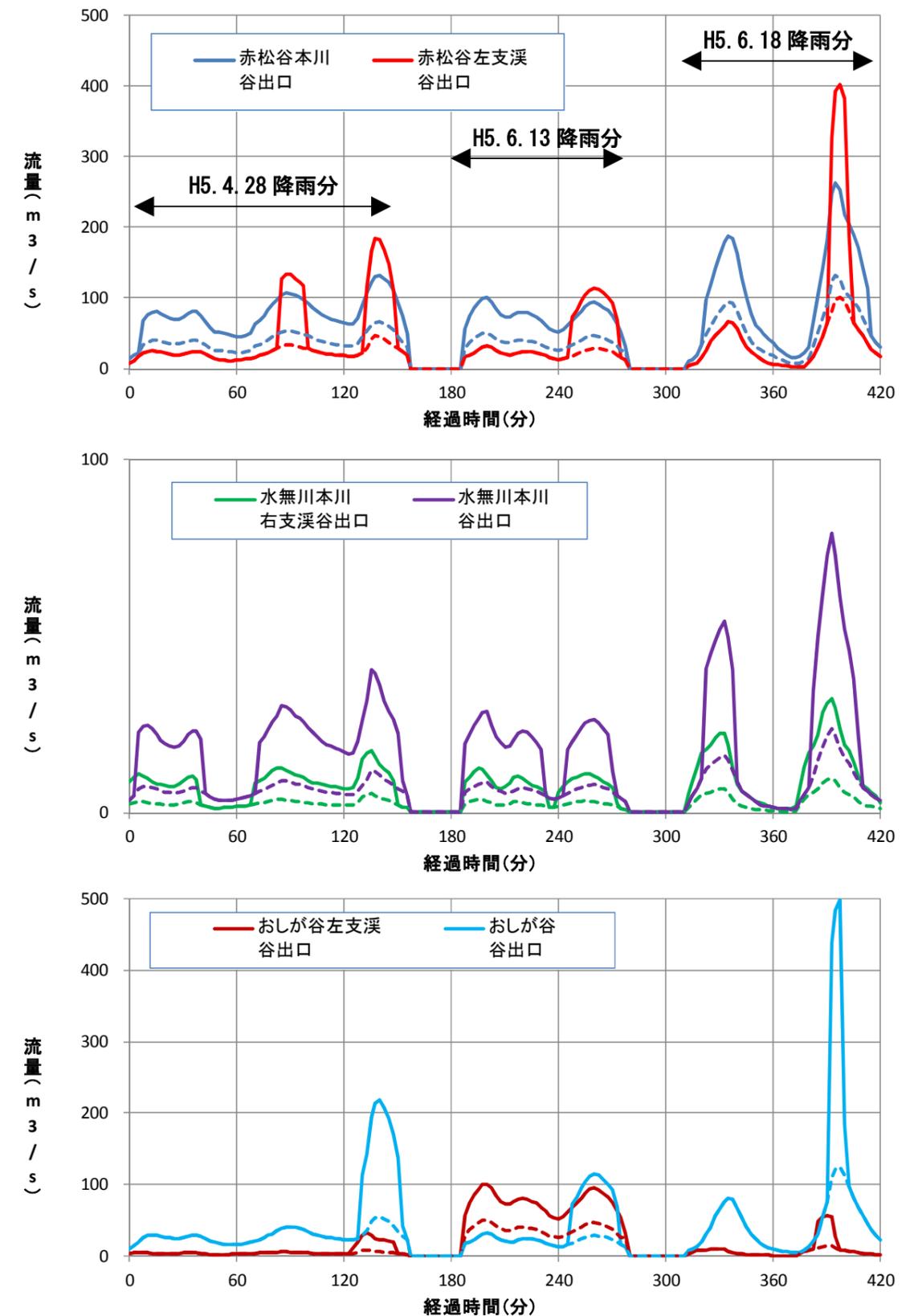


図 3.1 「連続的な中規模出水」ハイドログラフ

3.2 岩屑なだれ

※「第2回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」の検討より抜粋

(1) 想定する崩壊規模

降雨、重力等が引き金となり崩壊が起こることを想定する。崩壊規模を設定するにあたり、岩塊が重力作用により引っ張られた場合、岩塊内部のどの部分に破壊が生じ易いのかを、重力による変形に起因した岩塊内部の応力を求めることができる2次元数値解析(個別要素法:DEM)による安定性検討を用いて検証した。

第11ロープを包括する断面を用いて安定性を評価したところ、鉛直方向に生じている亀裂の位置でせん断破壊が発生するのが確認できた。

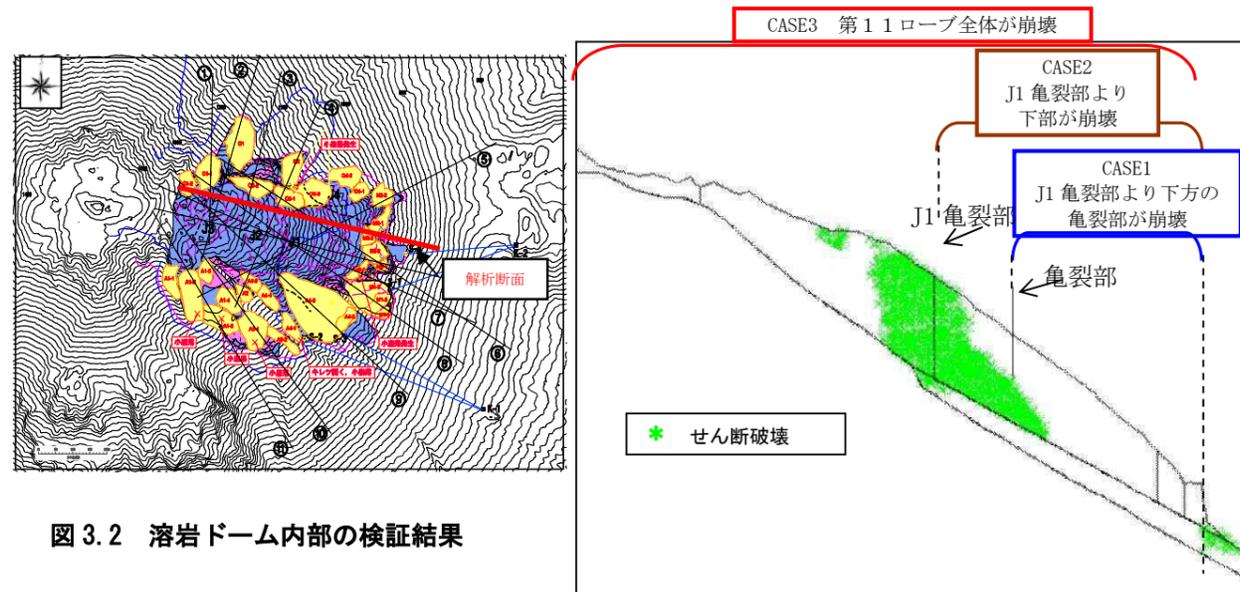


図 3.2 溶岩ドーム内部の検証結果

崩壊規模は、第11ロープの安定性検討結果等を参考に、目視による亀裂部、応力解析による応力集中箇所、溶岩ロープの境界部、噴火前の地山との境界部などで、降雨、重力等による侵食が引き金となり崩壊が起こることが考えられるため、5つの崩壊規模を想定した。

表 3.2 溶岩ドームの崩壊ケース

CASE	崩壊形状	崩壊位置の根拠	崩壊土砂量 (万m ³)
1	第11ロープ J1 亀裂部より下方の亀裂部より崩壊	目視による亀裂	768
2	第11ロープの J1 亀裂部より下部が崩壊	応力解析結果より	1,024
3	第11ロープと第4ロープの境界より上部全体が崩壊	溶岩ロープの境界	1,792
4	崩落堆積物と第4ロープの境界より上部が崩壊	溶岩ロープの境界	3,200
5	噴火前の地山の境界で崩壊	噴火前地山との境界	5,376

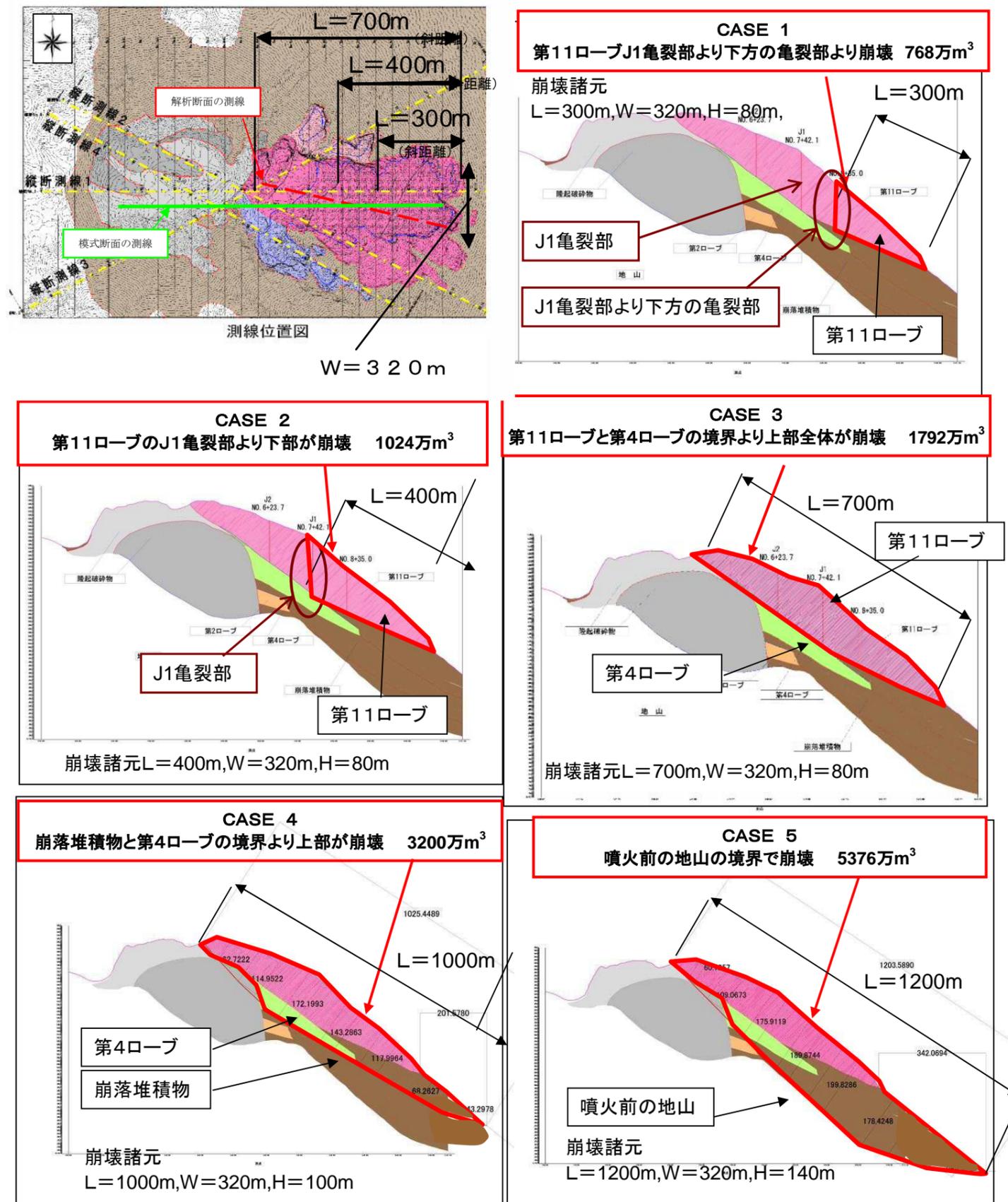


図 3.3 崩壊規模の模式図

(2) 発生可能性の高い崩壊規模の検討

- ・ 光波測距計測と地上型合成開口レーダー観測の結果より、溶岩ドームの先端部は全体的に下方に向かって移動している。
- ・ 溶岩ドームに形成された亀裂は冷却による開口亀裂であり、噴火沈静化後 15 年以上経過した現在でも拡大傾向にある。拡大速度の計測にまで至っていないが、今後も亀裂の拡大は進むものと想定される。
- ・ 溶岩ドーム底部の多孔質岩石は相対的に圧縮強度が小さく、溶岩ドームが崩壊する場合には、この面が移動境界となる可能性もある。

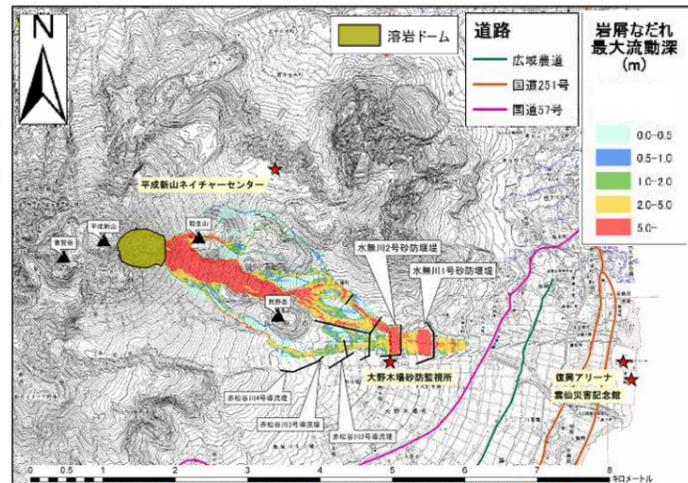
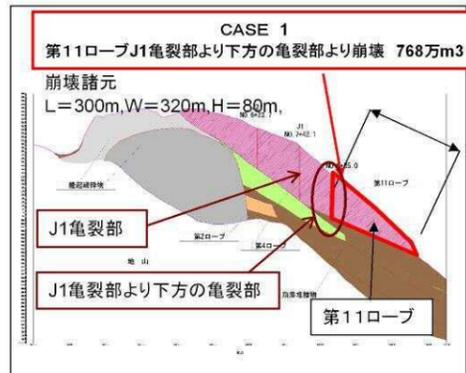
第 11 ロープと第 4 ロープの境界をすべり面とすることで case3 までの崩壊の危険性が高いと考えられる。

急速な移動のトリガーとしては間隙水圧の上昇や地震による強い震動などが想定される。現在は安定しているが、今後、激しい降雨や地震によって溶岩ドーム上部の安定度が低下し、移動を始める可能性がある。いずれのトリガーによって崩壊が発生するにせよ、溶岩ドーム内部の構造や力学的条件を把握しなければ予測は不可能である。崩壊発生条件を絞り込み、効果的な対策を推進するためには、多面的な手法(亀裂分布、剪断応力、地下水状態など)によって溶岩ドームの観測を引き続き行っていくことが必要である。

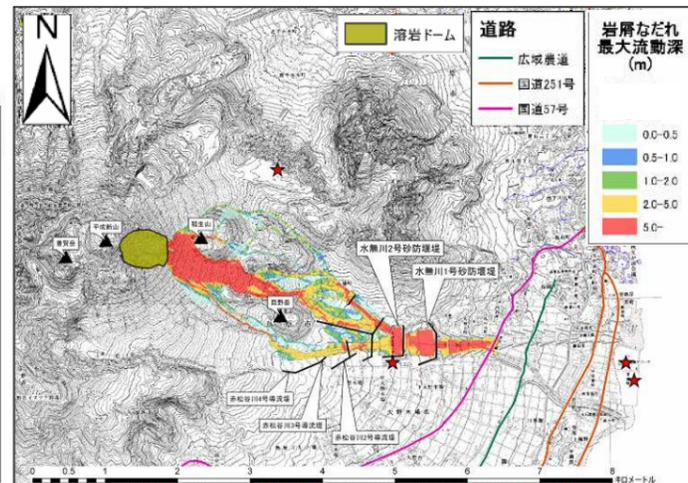
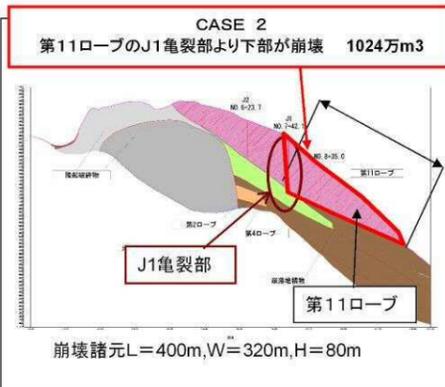
(3) 岩屑なだれの影響評価

各ケースの岩屑なだれ発生時の氾濫範囲を以下に示す。

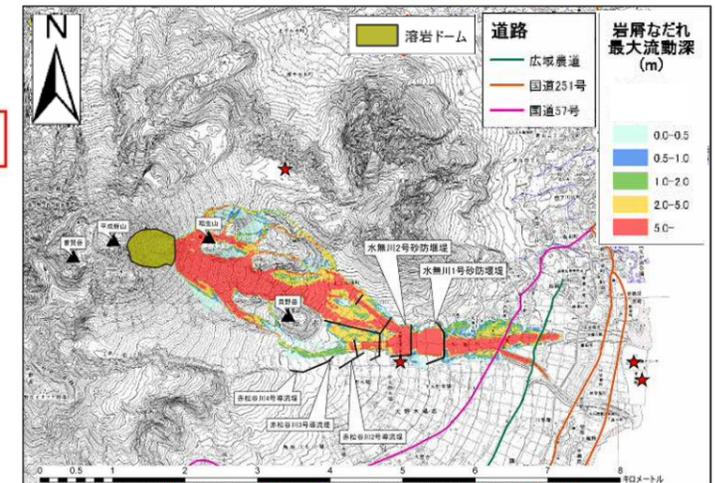
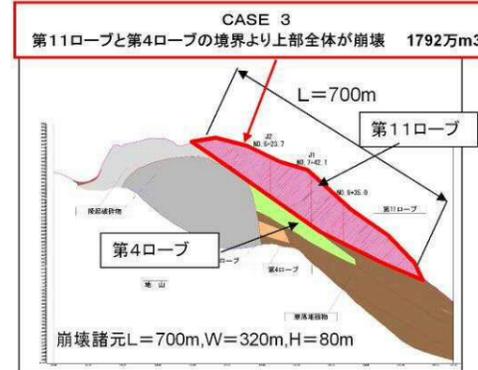
Case1



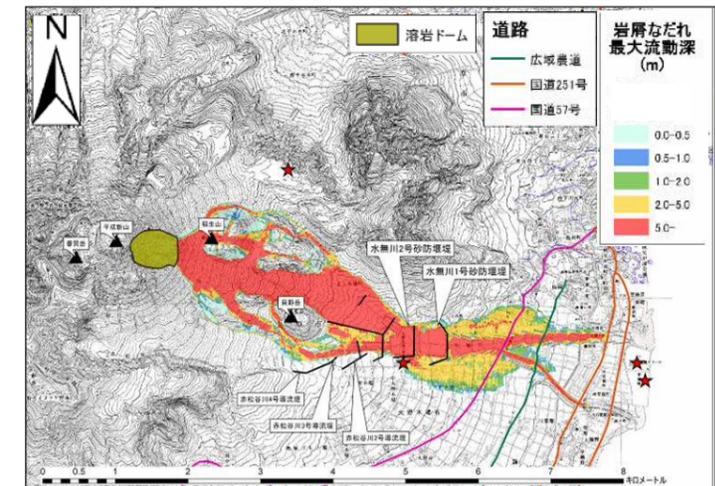
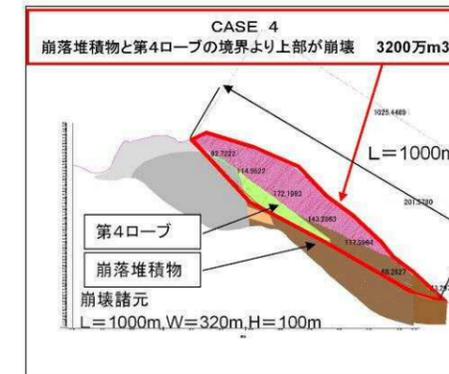
Case2



Case3



Case4



Case5

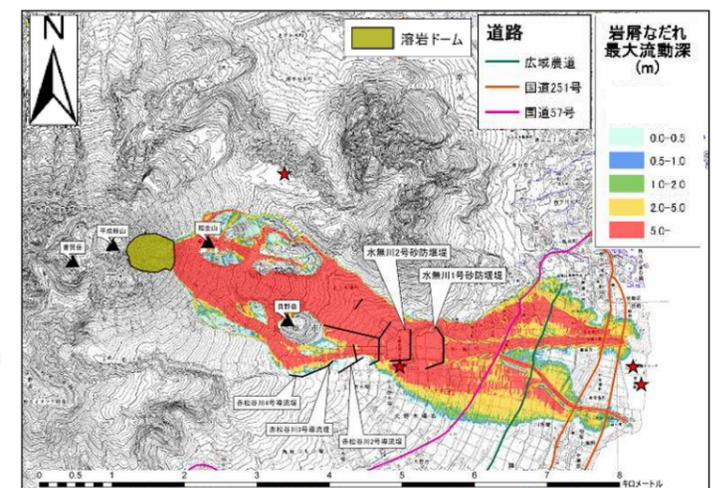
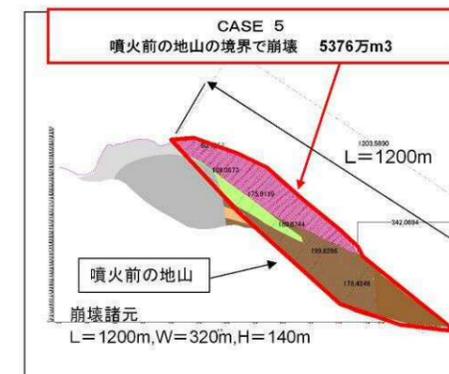


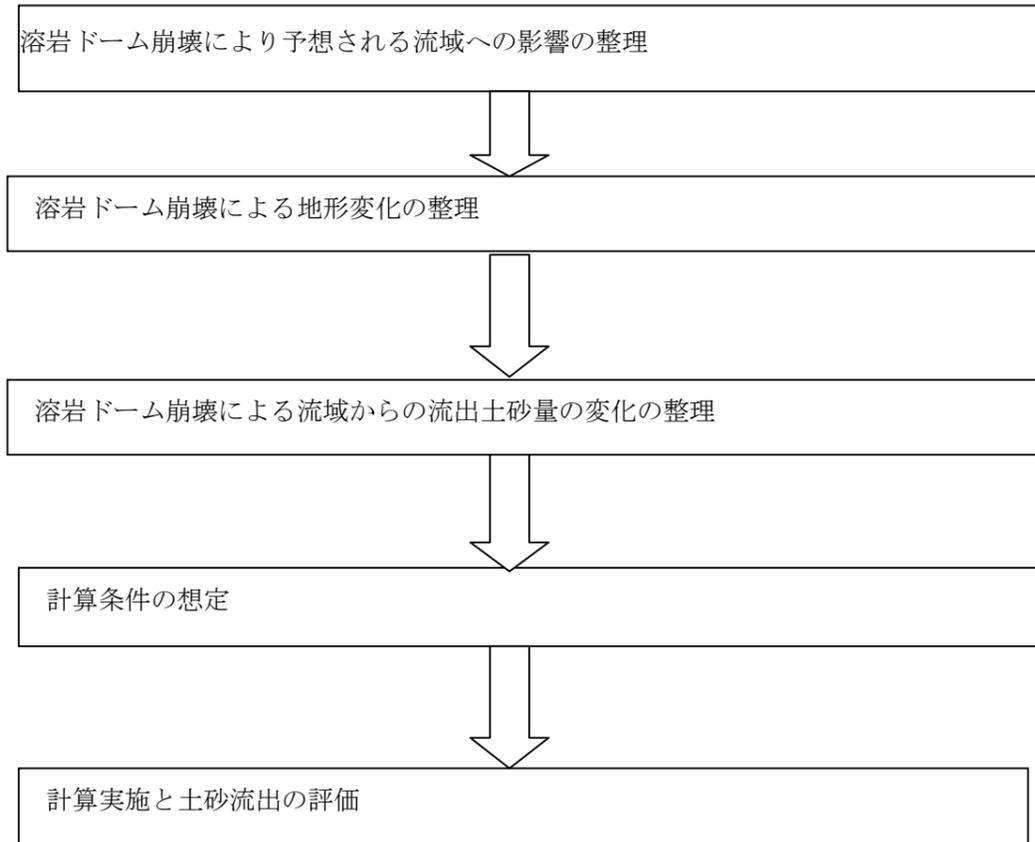
図 3.4 岩屑なだれ発生時の氾濫範囲

発生の可能性が高い case1~3 の内、被害が発生するのは case3 であり、case3 をハード対策の対象ケースとすることが適切と考えられる。

3.3 溶岩ドーム崩壊発生後の土石流

(1) 溶岩ドーム崩壊発生後の土砂流出の評価手順

以下の手順で溶岩ドーム崩壊後の土砂流出の評価を行う。溶岩ドームの崩壊規模としては、前節での検討より、発生確率が高く被害が発生する case3 を想定する。



(2) 溶岩ドーム崩壊により予想される流域への影響の整理

- 上流の不安定土砂が増加。
- 上流ではガリが発達し、侵食された溪床の土砂が流出する。
- 流れやすい細かい土砂が流域内に堆積し、平成噴火直後のように下流まで土砂が流出しやすくなる。
- 今回想定するのは溶岩ドームの崩壊後であるが、植生が未発達・締め固められていない等の条件が噴火後と共通しており、土砂が流動しやすくなる可能性が考えられる。

溶岩ドーム崩壊により土石流による被害が拡大する可能性が高い

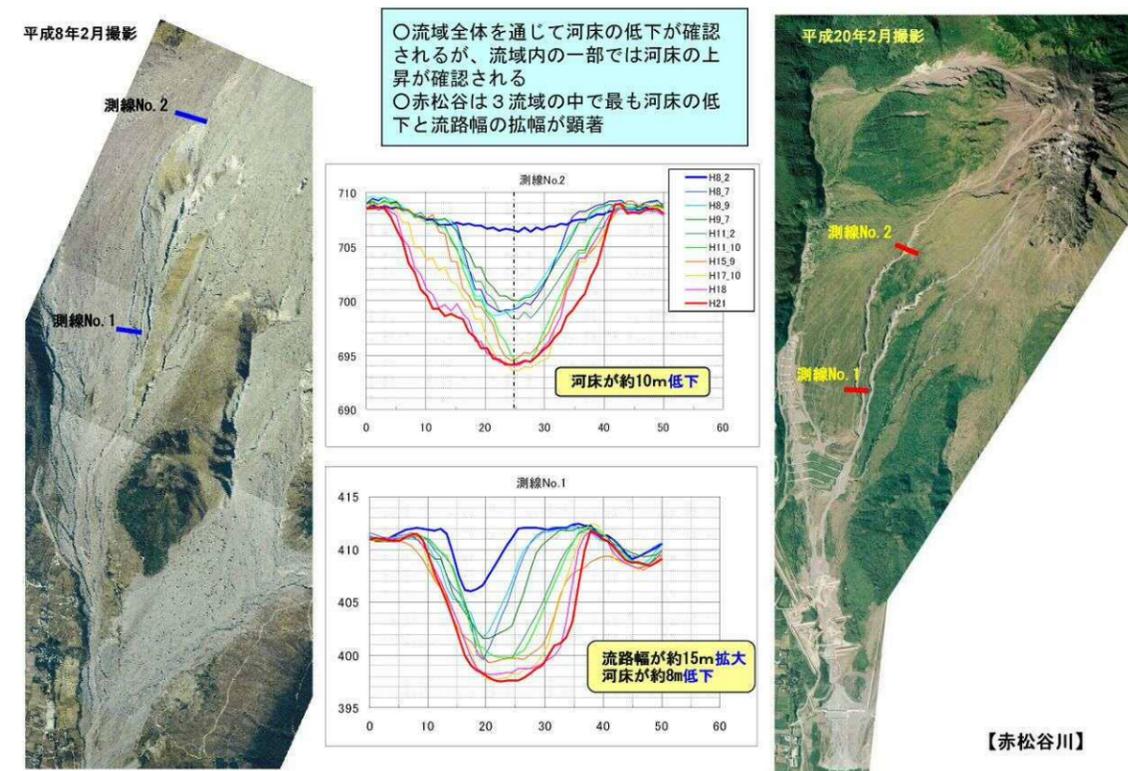


図 3.5 平成噴火後 (H8~H20) のガリの発達状況

(3) 溶岩ドーム崩壊による地形変化の整理

溶岩ドーム崩壊後(case3)の土砂の堆積状況を下図に示す。以下のような特徴が見られる。

- ・溶岩ドームの多くは水無川上流に不安定土砂として堆積しており、堆積部末端部の勾配を変化させている。
- ・おしが谷には、薄い堆積深で土砂が堆積している。
- ・赤松谷本川には流入は見られなかったが、左支川の一部には薄い堆積深で土砂が堆積している。

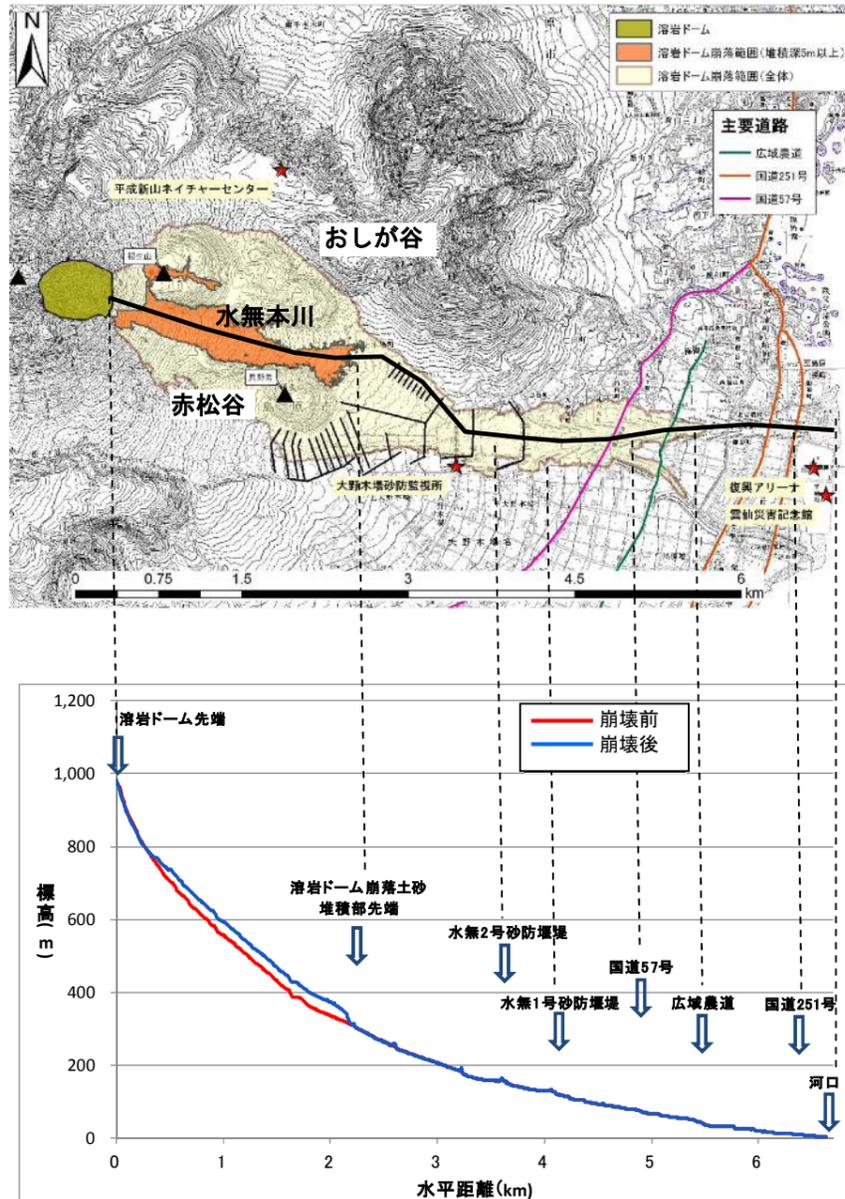


図 3.7 溶岩ドーム崩壊後の堆積範囲(H23 検討 case3) (上図)

図 3.7 水無川本川上流の地形変化(図 3.6 の黒線上) (下図)

地形が変わり、流域末端部の勾配が急勾配になることで不安定土砂が増加する可能性がある

(4) 溶岩ドーム崩壊の影響を考慮した流域からの流出土砂量の変化の整理

以下の手順で溶岩ドーム崩壊の影響を考慮した流域からの流出土砂量の変化の整理を行った。

溶岩ドーム崩壊時の影響計算より

- ・溶岩ドームの多くは水無川上流 (MZ-0) に不安定土砂として堆積しており、堆積部末端部の勾配を変化させている。
- ・おしが谷本川 (OS-0) には、薄い堆積深で土砂が堆積している。
- ・赤松谷本川 (AK-0、AK-1) には流入は見られなかったが、左支川の一部 (AK-3) には薄い堆積深で土砂が堆積している。

流域別に流出土砂量を見た場合 (図 3.8 参照)

- ・水無川 (MZ-0) において堆積土砂の影響による河床勾配の変化、および溶岩ドーム崩壊土砂の堆積による内部摩擦角の変化により不安定土砂増加(巻末資料-1 参照)
- ・おしが谷本川 (OS-0) において溶岩ドーム崩壊土砂の堆積による内部摩擦角の変化より不安定土砂増加(巻末資料-1 参照)
- ・赤松谷左支川 (AK-3) においても溶岩ドーム崩壊土砂の堆積によって内部摩擦角が変化しているが、現況で最大限の濃度での流出を想定しており、内部摩擦角が変わっても想定される不安定土砂量は変わらない。

本シナリオにおける流出土砂量は現行計画の 2,359 千 m^3 より 2,788 千 m^3 となり、約 1.2 倍の増加

ドーム崩壊後に土石流が発生した場合、現行計画の施設では被害が発生する可能性がある

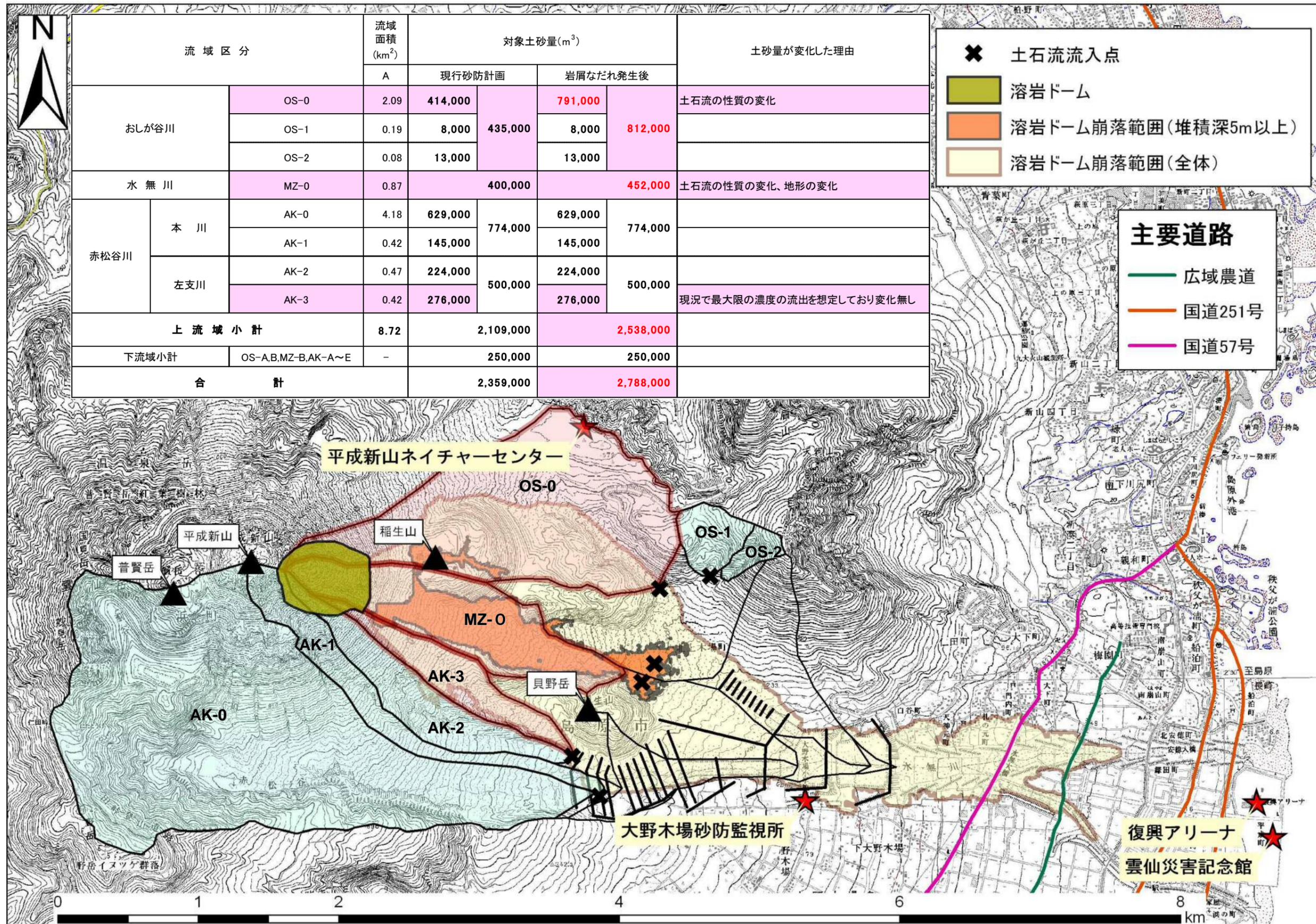


図 3.8 溶岩ドーム崩壊後の流出土砂の変化

(5) 計算条件の想定

溶岩ドームが崩壊し、地形・堆積土砂の性質が変わることによって土石流の被害が大きくなる可能性が考えられる。

以下の条件で溶岩ドームが崩壊した後に連続的な中規模出水が発生した場合の影響を評価した。

① 溶岩ドーム崩壊後の土石流影響予測の前提条件の整理

- ・ 地形 溶岩ドームが東方向に崩壊した状態 (case3)
- ・ 施設 現況計画の完了時
- ・ 移動可能土砂量 現行計画の対象土砂量を、溶岩ドーム崩壊後の地形・性状 (内部摩擦角) の影響を考慮して修正した値 (図 3.8 参照)
- ・ 誘因 連続的な中規模出水 (平成 5 年の 4.28、6/13、6/18 の 3 降雨)
- ・ パラメータ 溶岩ドーム崩壊後の堆積土砂の特性を再現するように設定した値

② パラメータ

平成 5 年土石流再現計算より内部摩擦角を設定し、以下のパラメータを用いる。

表 3.3 溶岩ドーム崩壊後の土石流再現計算のパラメータ

項目	単位	数値	備考
泥水密度	g/cm ³	1.2	一般的な値
砂礫密度	g/cm ³	2.31	密度試験結果より
土石流代表粒径	mm	3	粒度試験結果より
堆積時の土砂濃度		0.6	一般的な値
土石流内砂礫の内部摩擦角	①水無川本川、水無川本川左支溪、おしが谷本川からの土石流 (ドーム崩壊堆積物の影響が大きい流域)	12.4	土砂濃度から逆算
	②赤松谷本川、赤松谷左支溪、おしが谷左支溪からの土石流 (AK-3 流域はドーム崩壊堆積物の影響を受けているが、他の流域からの出水と混合するため 30 とする)	30	一般的な値
	③①と②の土石流の混合	12.4	土砂濃度から逆算

③ 土石流ハイドログラフ

連続的な中規模出水のハイドログラフにおいて、流量ピーク時に集中して土石流が発生するとして土石流ハイドログラフを設定した。

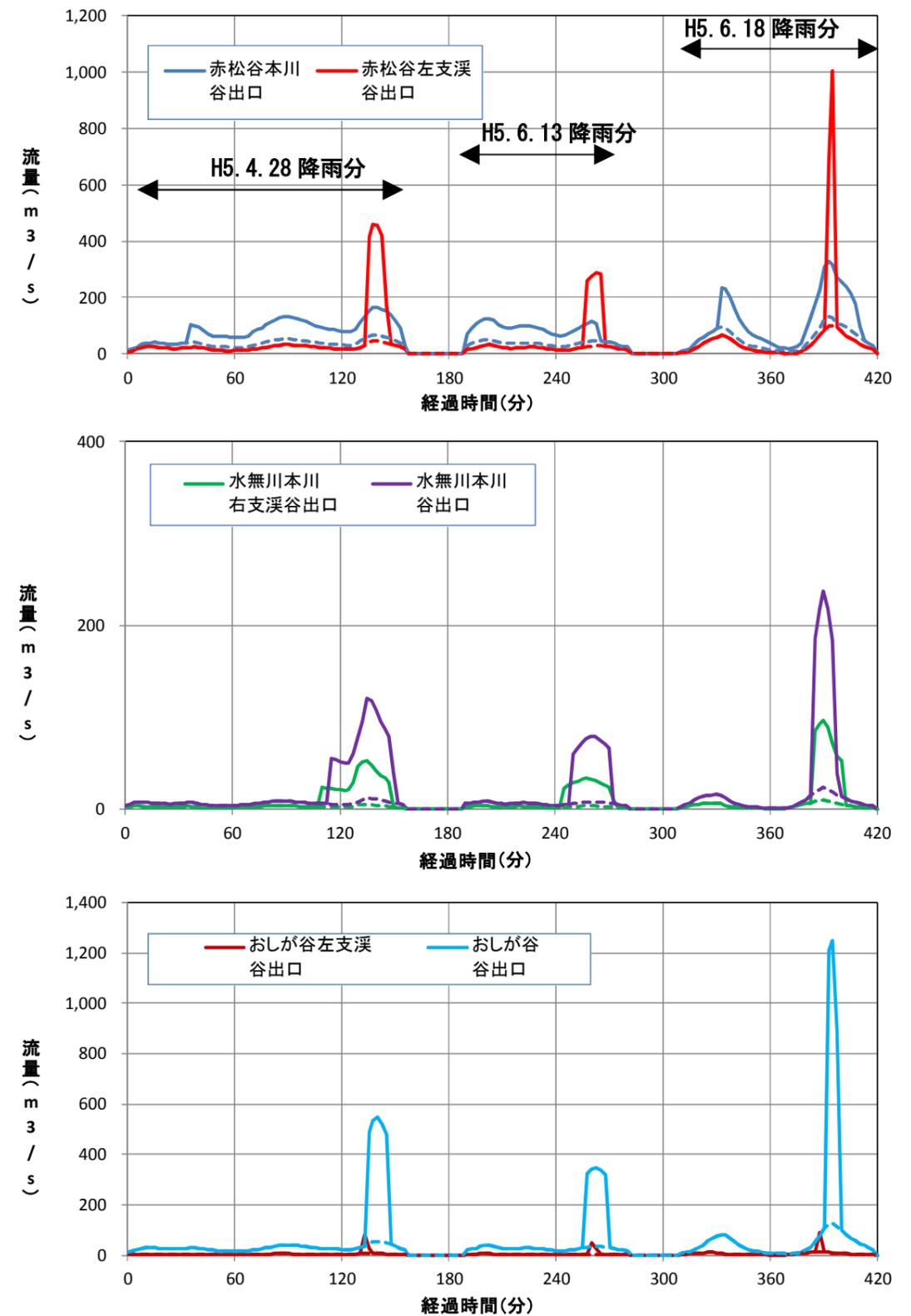


図 3.9 土石流ハイドログラフ (点線部が土砂を含まない分)

(6) 計算実施と土砂流出の評価

計算結果を以下に示す。

土石流は水無川2号砂防堰堤を満砂させて流下し、水無川1号砂防堰堤の容量の7割を埋めて捕捉されているが、その過程で水無川2号砂防堰堤の右岸部より越流している。

表 3.4 各堰堤での堆積量

	土砂量(万m ³)	
	施設効果量	本計算での堆積量
水無川1号砂防堰堤	100	72
水無川2号砂防堰堤	70	98
合計	170	170

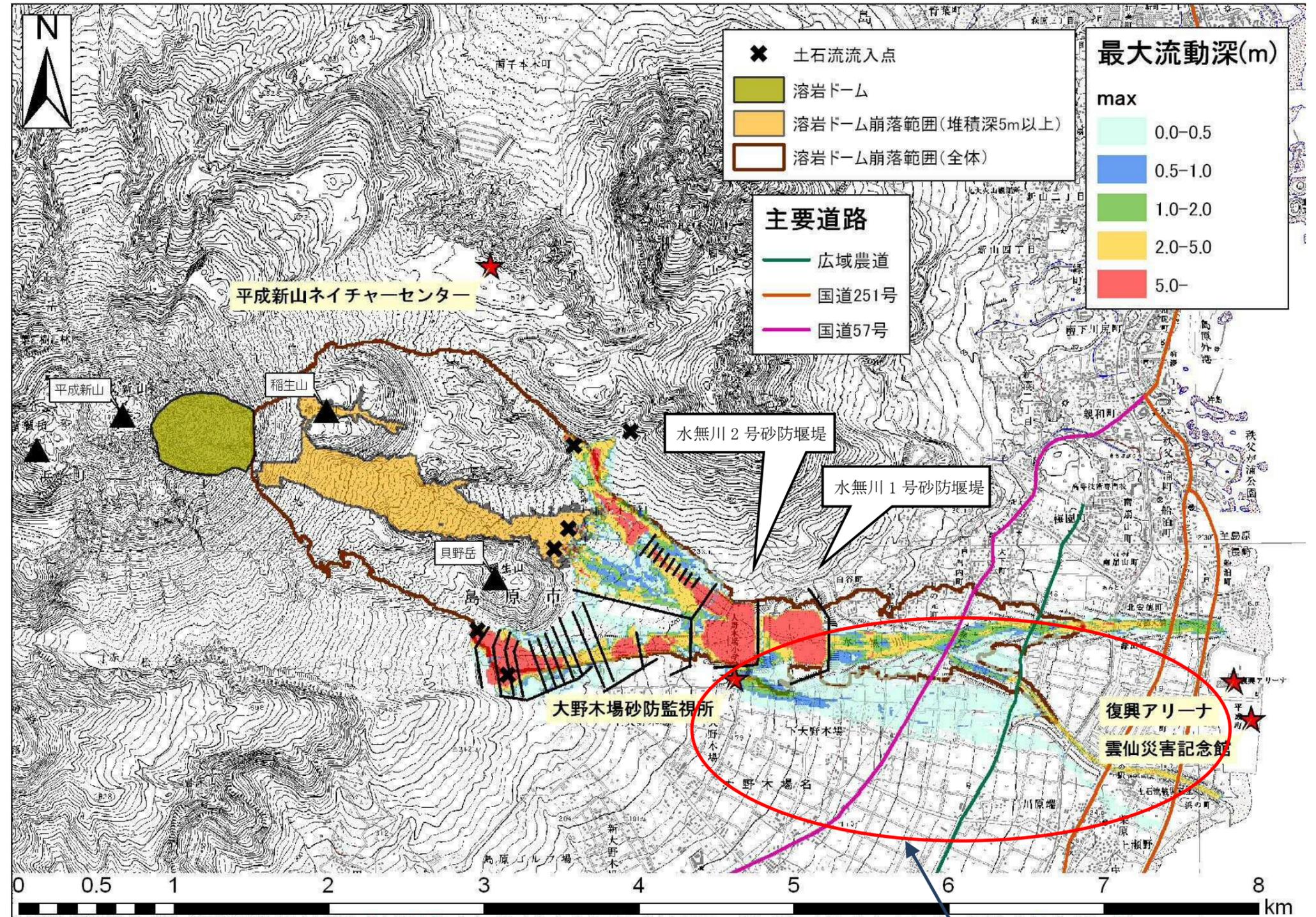


図 3.10 溶岩ドーム崩壊後の土石流計算結果(現況計画の完了時の施設)

溶岩ドーム崩壊後に大規模な土石流が発生することで、水無川2号堰堤右岸部から越流が発生する可能性がある

4 ハード対策の検討

4.1 課題の整理

各ケースにおいて以下の課題が考えられる。

(1) 岩屑なだれ(図 3.4)

①課題

被害が発生するケースの内最も発生可能性が高い case3 において、岩屑なだれが水無川 1 号堰堤を越流し、下流に被害を発生させる。

②対策

水無川 1 号砂防堰堤・水無川 2 号砂防堰堤の嵩上げ、除石(現行施設の施設効果量の確保)

→3mの嵩上げにより氾濫が抑制される(H23「第2回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」において確認)

(2) 溶岩ドーム崩壊後の土石流(図 3.10)

①課題

不安定土砂量が増加し、土石流の土砂量が増えることで水無砂防堰堤 2 号上流で堆積が進行し右岸部から越流して被害が発生する。

②対策

水無川 2 号砂防堰堤嵩上げ、除石(現行施設の施設効果量の確保)

4.2 ハード対策方針の整理

表 4.1 ハード対策の整理

対策	上流での土石流の捕捉・減勢	既設施設の嵩上げによる捕捉	既存の施設の掘削による容量の確保	
対策区間	上流土石流流下区間	中・下流	中・下流	
対象となる土砂移動現象	岩屑なだれ発生後の土石流	岩屑なだれ発生後の土石流 平常時の出水が長期間続いた後の土石流	岩屑なだれ発生後の土石流 平常時の出水が長期間続いた後の土石流	
工種	・捕捉工 (透過型堰堤の新設、 リングネットの設置等) ・遊砂地の新設	・既設堰堤の嵩上げ(捕捉工) ・導流堤の嵩上げ	除石	
評価項目	効果	・地形的に比較的急勾配の区間であり、岩塊を捕捉する容量を確保するのに不利。 Δ	必要な空間を確保できれば効果が期待できる。 Δ	・効果量自体は小さめであるが、確実な効果は期待できる。 Δ
	施工性	・アクセスが悪く、また急斜面上での作業になり、施工性に劣る。 Δ	・下流からのアクセスが良く、また地形が平坦で作業がしやすく施工性に優れる。既設の施設を活用することによる効果の割りに省力も期待できる。 ○	・下流からのアクセスが良く、また地形が平坦で作業がしやすく施工性に優れる。 ○
	経済性	・効果を発揮するには大規模な対策が必要で、施工性も優れるとは言えない。 Δ	・既存の施設を利用することで経済性が有利である。 ○	・既存の施設を利用することで経済性が有利である。 ○
	景観への影響	雲仙普賢岳はジオパークに認定されており、上流部に大規模な施設が入り景観が損なわれることは不適切である。 ×	嵩上げ部付近からの視線への影響については確認する必要がある。 Δ	景観への影響はほぼ無いと考えられる。 ○
総合評価	Δ	○	○	

※「第 1 回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」検討より、アンカー工・杭工等による溶岩ドーム崩壊自体の防止は工事安全性の面から実施困難であり、検討外とする。

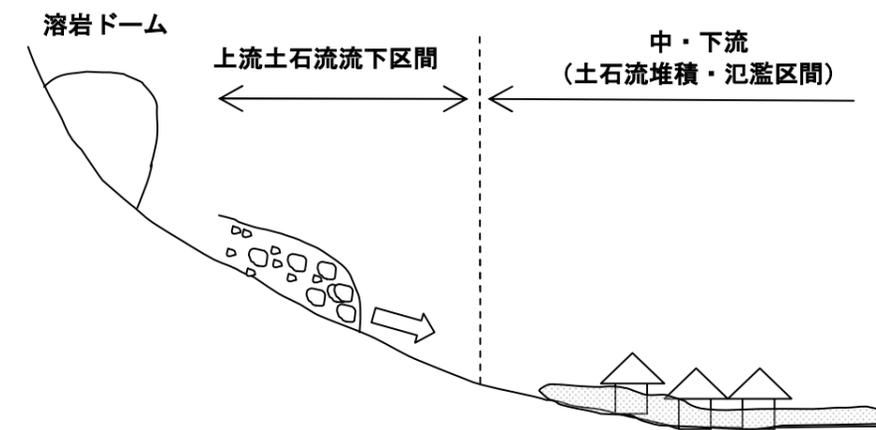


図 4.1 対策区間の定義

岩屑なだれ・溶岩ドーム崩壊後の土石流への対策としては、現行計画の土石流対策の施設効果量を確保(除石等により)した上で、既往施設を嵩上げすることが有効である。

4.3 施設嵩上げ効果の検証

水無川 2 号砂防堰堤、1 号砂防堰堤を 3m 嵩上げした時の効果を数値計算で評価した。

(1) 岩屑なだれへの効果

(「第 2 回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」において検討)

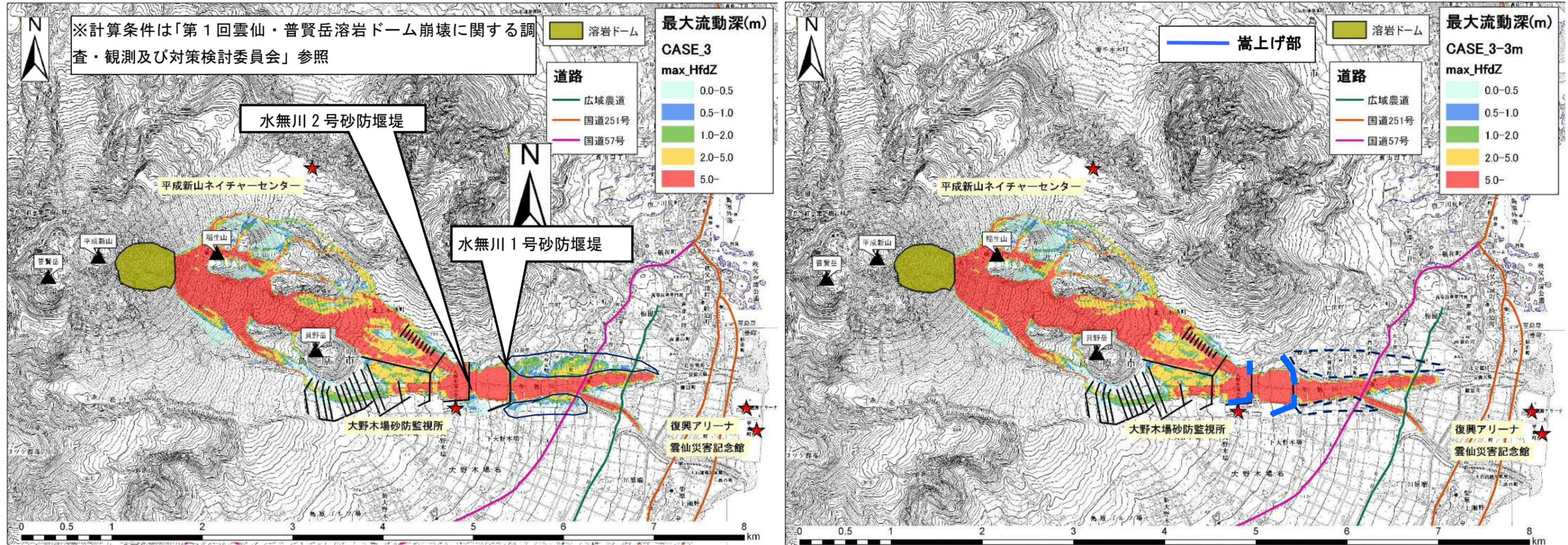


図 4.2 岩屑なだれ発生時の氾濫範囲（左：現況施設、右：施設 3m 嵩上げ時）

嵩上げにより、岩屑なだれ発生時に水無川 1 号砂防堰堤の両岸袖部からの越流による氾濫が抑制され、岩屑なだれは導流堤により安全に下流まで流下する

(2) 溶岩ドーム崩壊後の土石流への効果

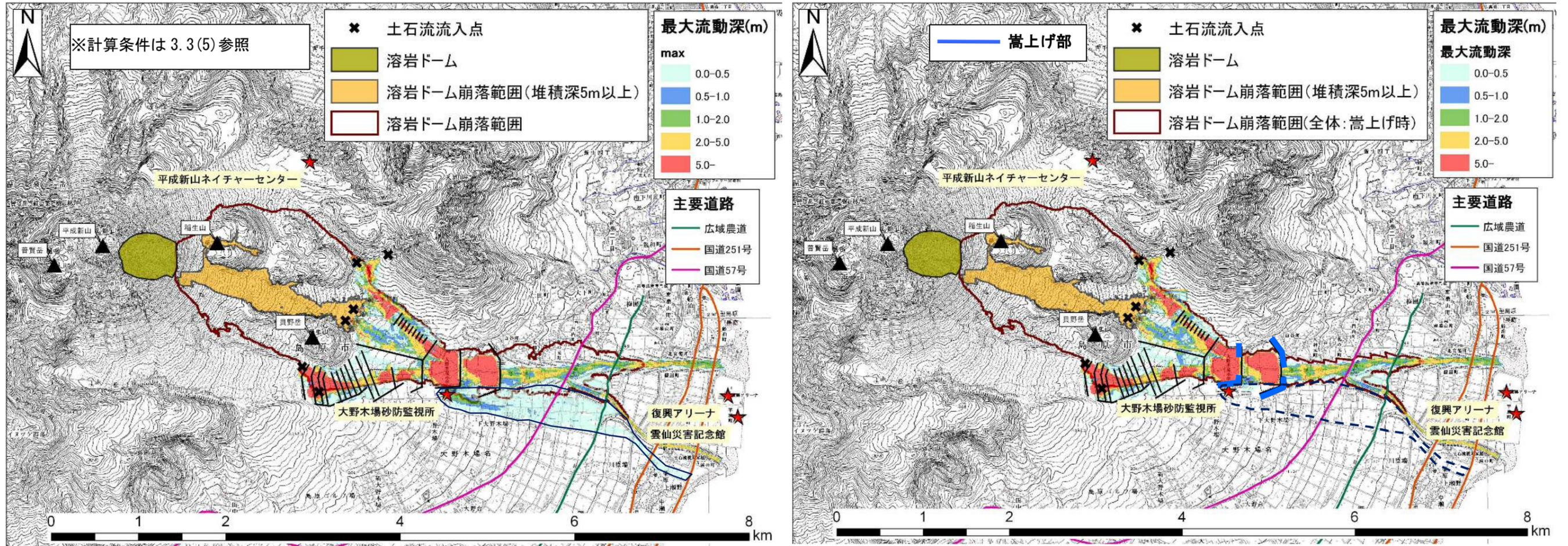


図 4.3 溶岩ドーム崩壊後の土石流発生時の氾濫範囲 (上: 現況施設、下: 施設 3m 嵩上げ時)

水無川 2 号堰砂防堤の嵩上げにより溶岩ドーム崩壊後の土石流発生時に水無川 2 号砂防堰堤からの右岸側の氾濫が防止され、土石流は導流堤により安全に下流まで流下する

4.4 施設嵩上げの設計 (案)

水無川1号・2号砂防堰堤の3m嵩上げの縦断面図・平面図(案)を示す。

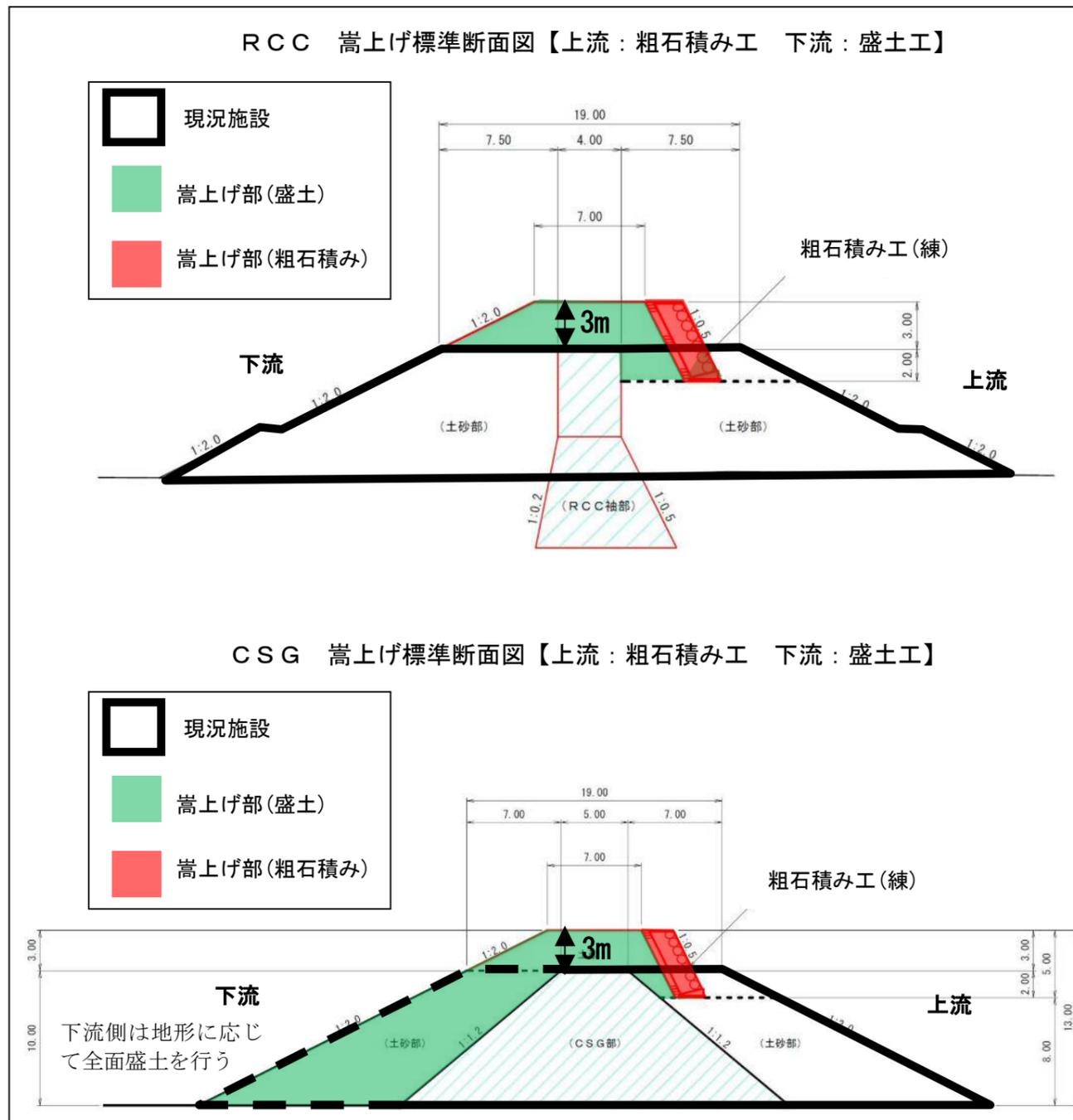


図 4.4 堰堤 3m 部嵩上げ縦断面図(案)

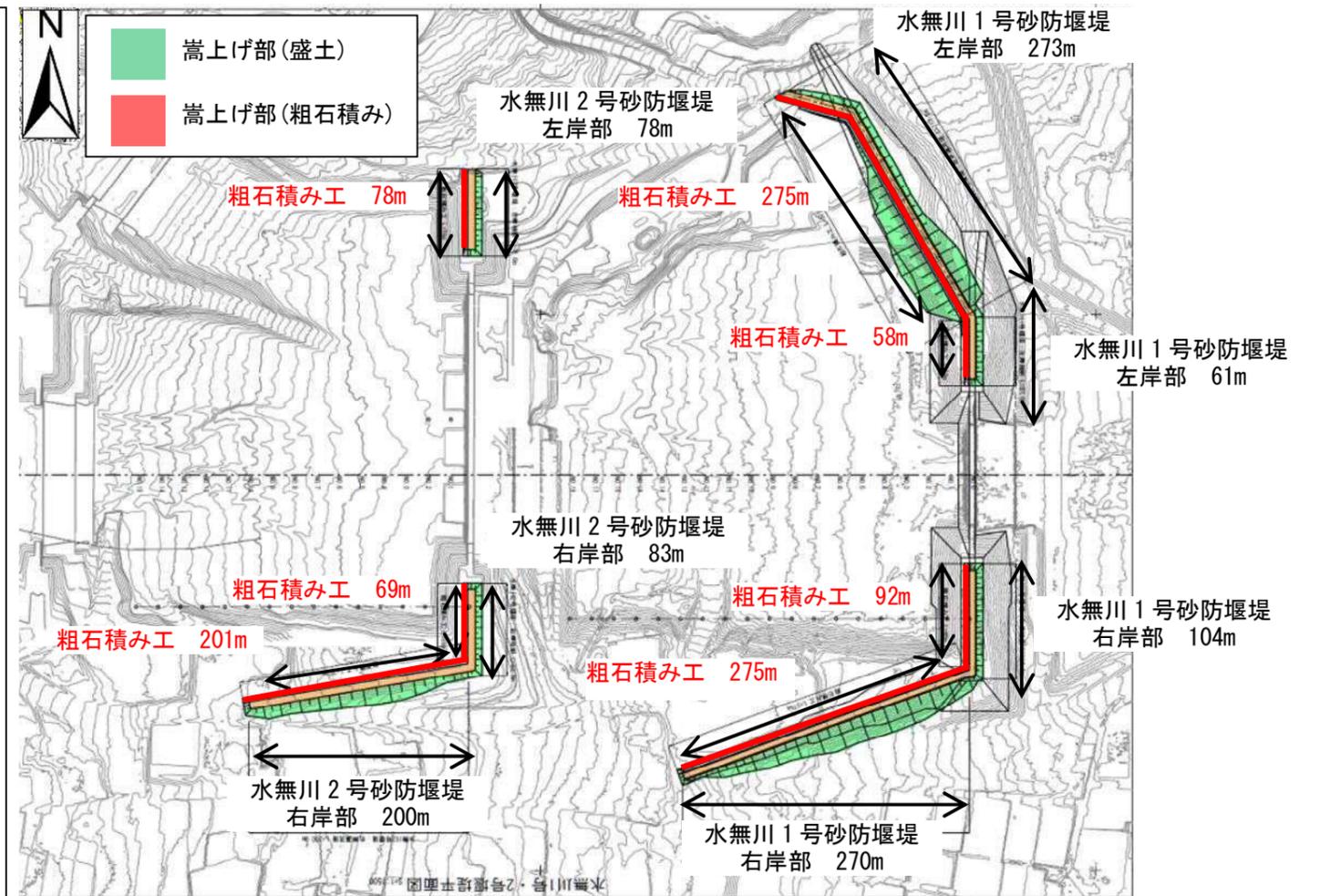


図 4.5 堰堤 3m 嵩上げ平面図(案)

施設構造については、部分的な変形は許容するが全体破壊はしない構造とする。それによって所期の土砂捕捉機能を維持する。設計に際して外力については計算して設計する。

5 ソフト対策について

5.1 溶岩ドームの観測・計測手法の現状と課題

(1) 溶岩ドームの観測・計測手法

表 5.1 溶岩ドームの観測・計測手法

観測手法	概要	問題点	対応方針(案)
(観測により定期情報が得られる)	(1)光波測距	溶岩ドーム(第11ロープ)の先端付近に8基の反射プリズムが設置され、計測点との斜距離の変化を定期的(1回/1時間)に計測している。 H9より継続観測	□プリズム設置点が限られているため、不安定ブロックの範囲が不明である。 □測点の動きを視覚的に見せて動きを確認する。 □「三角形の面歪み」、「累加変位量」の解析・評価し、危険度判定基準を検討する。
	(2)地上型SAR(合成開口レーダー)	地上から合成開口レーダーにより、面的に地形を測量する。天候・昼夜に関係なく測量を行えるのが特徴 H22、H23に試験観測	□移動している領域がどのような動きをしているか不明である。
	(3)航空レーザープロファイラー	レーザープロファイラーを搭載した航空機を溶岩ドーム上空に飛ばし、遠距離から溶岩ドームの地形を測量する。 H15、H19、H23に観測実施	□精度が鉛直方向で±15cm、水平方向で±15cm以上で、合成開口レーダー(精度数mm)と比較することができない。
	(4)キレット板による観測	キレット部にキレット板を設置し、定期的にキレット板の状況を確認し、ブロック毎に崩落の進行などがなければ調査を行う。観測者が溶岩ドーム近辺まで接近して板の状況を確認する必要があり、安全性に問題がある。 H23に実施	□現地に確認しに行く必要がある。
	(5)ドーム末端部での湧水観測(案)	ドーム末端部から流出する水量を測定し、ドーム内部に含有する水量を推定する。	□設置箇所、設置機器、電源等の検討が必要である。 □湧水量からドーム内部の水量を推定する方法の検討が必要である。
	(6)定点撮影(案)	溶岩ドームを俯瞰して見られる位置から定期的に静止画を撮影する	□撮影に適した位置の選定が必要 □可視光の撮影のため、天候などの影響を受ける
(溶岩ドームに変化があったら得られる臨時情報)	(7)振動センサーによる落石回数の計測	気象庁が設置した振動センサーによって落石の発生回数を把握している。地震計の震動が1.25m/s以上(P-P)の場合、落石震動とみなしている。 H7より継続観測	□気象庁・九大の地震計での落石発生から発表までの流れを確認する必要がある。 □国交省の振動センサーは土石流発生を対象としている。 □落石検知に適用できないか、振動センサーの仕様、波形等を確認する。
	(8)傾斜計(案)(地盤変位の観測)	斜面等に検知センサーを設置して、センサーが転倒(傾斜)すると、崩壊を検知する。	□センサー設置の方法を検討する必要がある。
		□危険度判定の基準が決まっていない。	□判定基準の検討(時間あたりの回数?振動の大きさ?)

(2) 溶岩ドーム内部の調査手法

表 5.2 溶岩ドームの観測・計測手法

調査目的	調査手法	調査内容	特徴	適用性	備考
溶岩ドーム内部の温度推定	空中磁気探査	・ヘリコプターにより磁気センサーを曳航し、地盤が持つ磁気から形成される磁場を測定し、地表および地下の磁性構造を推定する。 ・磁化強度を測定することにより、溶岩ドームが高温であるかどうかを推定する。	【適用領域】 ・深度:数m~数km 【長所】 ・広域の調査が可能である。 ・空中電磁探査と同時に測定が可能である。 ・立入り等の際、制約を受けない。 【短所】 ・温度の絶対値の推定ができない。	◎	実施中 (平成11年 島原振興局実施)
	ボーリング調査	・溶岩ドームをボーリングにより掘削して、直接地盤内部の温度を測定する。	【適用領域】 ・深度:数m~数十m 【長所】 ・温度の絶対値が分かる。 【短所】 ・ボーリング作業に危険が伴う。(ドーム上への立ち入り) ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	△	
	空中熱映像法	・赤外線センサを航空機に搭載して上空より地表面の温度分布を測定する。	【適用領域】 ・深度:地表面 【長所】 ・現地での立ち入りが不要である。 【短所】 ・太陽からの放射と地表物からの熱放射があり、調査する時間帯に注意が必要。	×	
溶岩ドームの内部構造の推定	空中電磁探査	・ヘリコプターにより周波数が異なる数種類の電磁波送受信コイル対を曳航して、地盤の比抵抗を測定し、内部構造や地下水位分布等を推定する。	【適用領域】 ・深度:数m~数km 【長所】 ・広域の調査が可能である。 ・空中電磁探査と同時に測定が可能である。 ・立入り等の際、制約を受けない。 【短所】 ・精度が20m程度で、その間は補間になるため、局所的な構造は把握できない。	◎	実施中 (平成11年 島原振興局実施)
	弾性波探査(屈折法)	・人工的に震動を起こして、地盤内を伝わる波の早さから、速度区分を行い、内部構造(100~150m程度)を推定する。	【適用領域】 ・深度:数m~150m 【長所】 ・大域的な構造の把握が可能である。 【短所】 ・ドーム上を1m程度掘削して、ダイナマイトを装填、爆発させるために危険が伴う。 ・詳細な構造の把握は困難である。 ・新鮮な岩盤の下に脆弱部がある場合などの逆転層があった場合、深部の推定が困難である。 ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	×	
	表面電磁探査	・岩盤に電極棒を貫入させ、地表面付近の比抵抗を測定して、内部構造を推定する。	【適用領域】 ・深度:地表面~数十m 【長所】 ・空中電磁探査と比べて、局所的な構造の推定が可能である。 【短所】 ・電極棒設置のため岩盤を一部掘削する必要があるため、危険が伴う。(ドーム上への立ち入り) ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	△	

5.2 第4回委員会検討内容案

発生確率が低く、またハード対策のみで対応することは施設が大規模になることから現実的では無い溶岩ドーム崩壊 case4・case5 に対しては、ハード対策とソフト対策の組み合わせで対応する。第4回委員会においてソフト対策を検討する予定である。

5.3 光波測距・地上型合成開口レーダーの観測結果

(1) 光波測距【速報版】

平成9年(1997年)3月から光波測距儀により溶岩ドームの変位(光波測距儀と反射プリズム間の斜距離の変化)を計測している(図5.1)。自動観測を開始した2007年9月から2012年10月末までの、みらい館と天狗山観測所からの斜距離の変化量について、プリズムP1~P4の結果を図5.2に、プリズムP5~P8の結果を図5.3にそれぞれ示す。

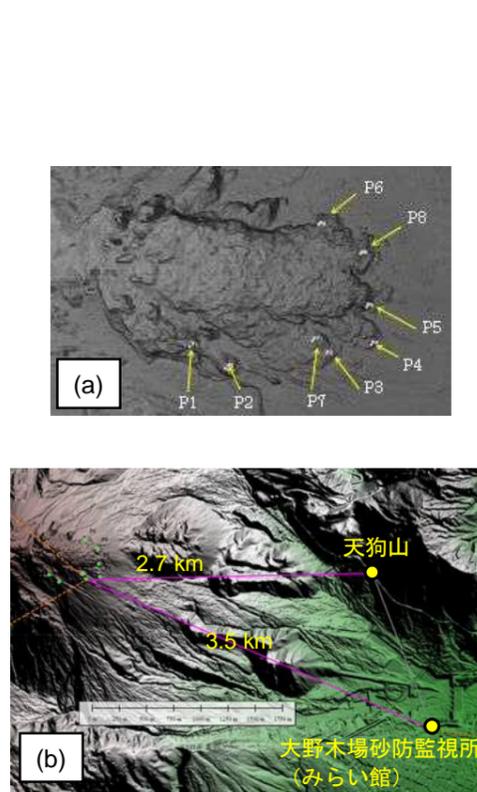


図5.1 光波計測機器と
反射プリズムの設置位置

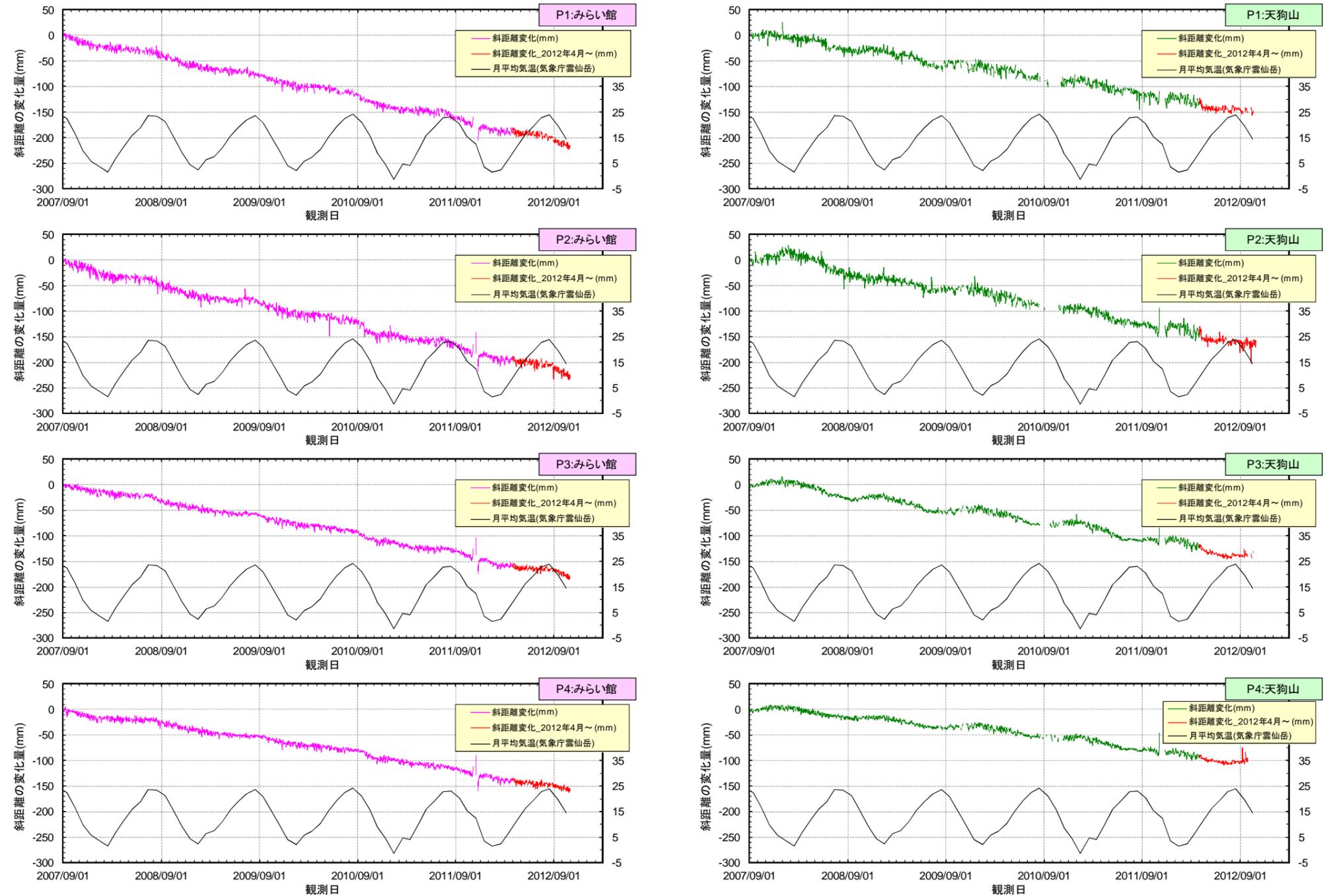


図5.2 光波測距の観測結果 (P1~P4)

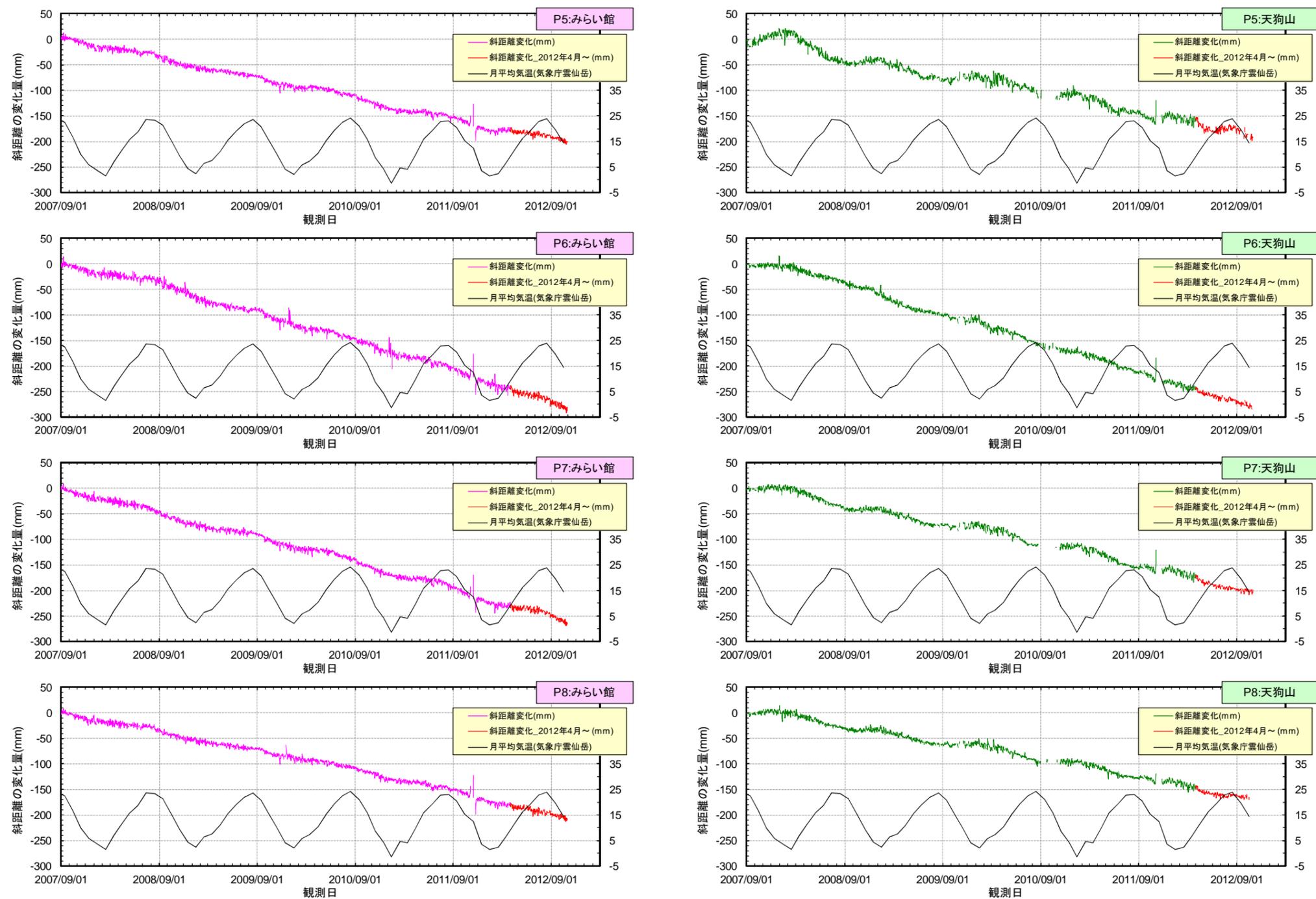


図 5.3 光波測距の観測結果 (P5~P8)

・本年度 (2012年4月～、図中赤線) の観測結果は、これまでと同様の変位の増加傾向を示している。

(2) 地上型合成開口レーダー【速報版】

地上型合成開口レーダーによる溶岩ドームの挙動観測は、送信した電波の波と溶岩ドームで反射して受信した電波の波のずれる量を計測して、変位に変換している。

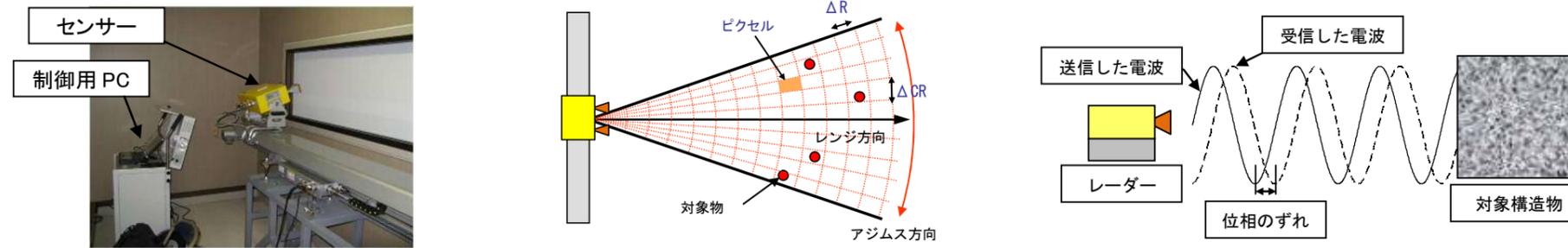


図 5.4 地上型合成開口レーダー

観測結果として、昨年度結果（平成 23 年 10 月～平成 24 年 2 月）を図 5.5 に、本年度 10 月までの結果（平成 23 年 10 月～平成 24 年 10 月）を図 5.6 に示す。

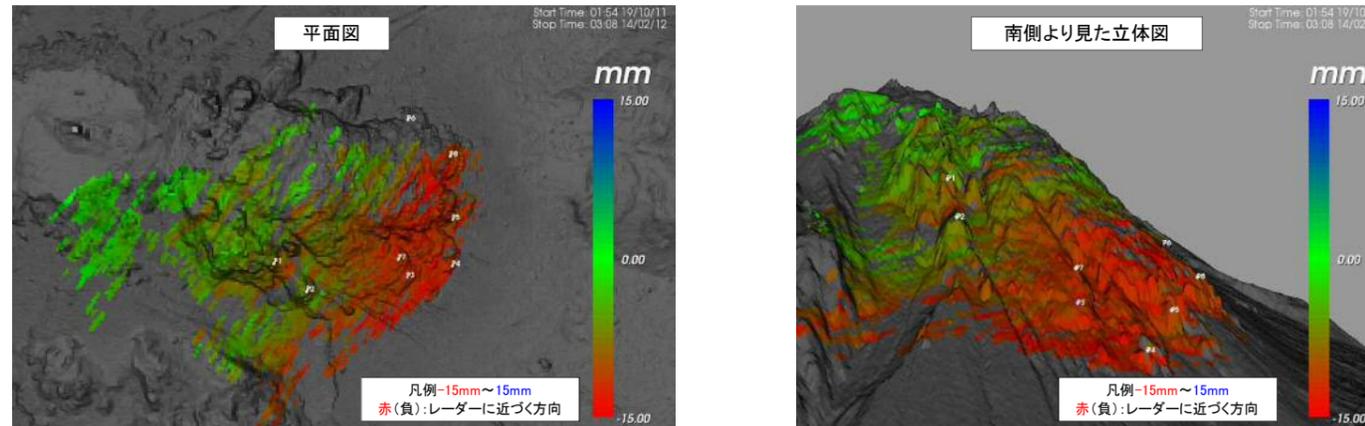


図 5.5 地上型合成開口レーダーによる変位分布（平成 23 年 10 月 19 日から平成 24 年 2 月 14 日：約 4 ヶ月間）

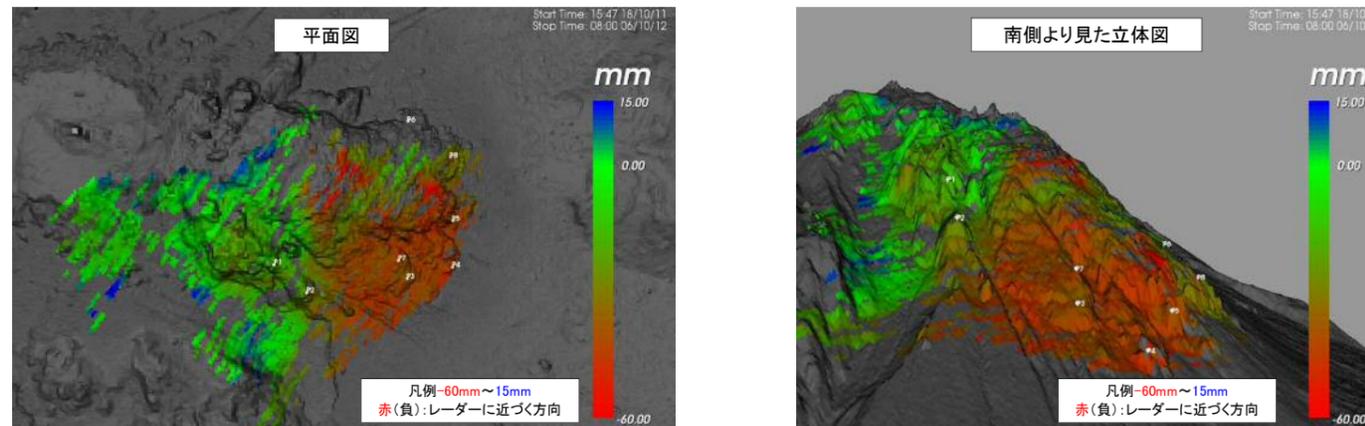


図 5.6 地上型合成開口レーダーによる変位分布（平成 23 年 10 月 18 日から平成 24 年 10 月 6 日：約 1 年間）

【注】ここで示した図、数値は速報暫定値であり、気象の影響の補正方法など今後の検証作業の進展によっては修正される場合があり得る。

本年度の観測結果を含む変位分布は、溶岩ドームの下部で変位が相対的に大きく、昨年度の観測結果と大局的には同様の傾向を示している。なお、ここで示した図、数値は速報暫定値であり、気象の影響の補正方法など今後の検証作業に進展によっては修正される場合があり得る。